



**Francisco Carlos
Morgado Ferreira
Felício**

Projeto e construção de miniprensa de 5 kN



**Francisco Carlos
Morgado Ferreira
Felício**

Projeto e construção de miniprensa de 5 kN

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de António Manuel de Bastos Pereira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e de Nélia Maria Marques da Silva, Professora Auxiliar do Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor João Paulo Davim Tavares da Silva

Professor Associado C/ Agregação da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor António Manuel de Bastos Pereira

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Agradecimentos / Acknowledgements

Ao meu orientador, o Professor Doutor António Bastos agradeço todo o apoio que me prestou, todo o conhecimento que me transmitiu e todas as conversas sobre o mundo das empresas e da vida que tivemos, que certamente irei ter saudades. Foi um orientador sempre disponível e sempre com uma mensagem de otimismo e foi um prazer para mim trabalhar consigo. Ao Engenheiro António Festas agradeço todo o apoio na parte da fabricação das peças, todo o conhecimento transmitido e as conversas que tivemos. Foi uma pessoa sempre disponível para ajudar e um profissional exemplar. Ao Professor Doutor José Paulo Santos, por toda a ajuda na parte eletrónica. Foi um professor sempre disponível que me acompanhou durante o meu percurso académico. Ao Doutor Nuno Almeida, por toda a disponibilidade e apoio em relação ao *scanner*. A sua ajuda foi muito importante na parte dos teste e resultados. Ao Senhor Rui do LAR, por me ter ajudado durante a parte eletrónica, tanto a sugerir ideias como a ensinar os conhecimentos necessários para atingir o meu objetivo, por exemplo a soldar placas de circuitos. Ao Senhor Luís do LAR, por me ter ajudado com o tratamento de sinal da célula de carga, foi um grande ajuda para a obtenção de resultados mais exatos. Ao Renato Rocha, amigo, que me acompanhou na fase final do projeto, por me ter ajudado sempre que foi necessário. À minha família, principalmente mãe e avó, por toda a estabilidade proporcionada durante este projeto. Foram o pilar quando as coisas corriam menos bem. Ao meu tio Valentim e seus filhos por toda a ajuda nesta fase da minha vida, por me terem emprestado a casa de família para eu morar durante este período. À Beta, por ter sido um grande apoio emocional, deste-me estabilidade nas alturas mais complicadas, soubeste sempre motivar quando foi preciso. Aos amigos, companheiros durante este percurso académico, por todas as aventuras que passámos, todos os momentos que tivemos. Um agradecimento especial ao Moreira, Zé, João, Eliana, Cristiano, Luís e Ranieri por serem os amigos que são, fizeram com que estes anos tivessem sido os melhores da minha vida, estarei cá sempre para vocês!

Palavras-chave

Projecto Mecânico; Miniprensa; Skyscan 1275

Resumo

O projeto desenvolvido tem como finalidade possibilitar a realização de ensaios de compressão no interior da máquina de microtomografia *Skyscan 1275* adquirida pelo Centro de Tecnologia Mecânica e Automação (TEMA). A *Skyscan 1275* permite, através de um método não destrutivo, analisar a estrutura de um objecto com recurso ao raio-X, sendo o objetivo deste projeto potenciar ao máximo as suas aplicações. Foi desenvolvido um projeto de uma miniprensa, desde a ideia ao protótipo funcional, passando por sucessivas iterações, sendo este testado em ambiente real. Realizou-se um ensaio de compressão de uma amostra de poliuretano (PU) onde foi possível realizar uma análise sobre a sua deformação. Este projeto abrangeu varias áreas da engenharia, desde o projeto mecânico à eletrónica, culminando num mecanismo que permite comprimir amostras até $20 \times 20 \times 17 \text{ mm}^3$, controlado pelo *software Termite*.

Keywords

Mechanical Project; minipress, Skyscan 1275

Abstract

The developed project has the purpose to enable compression tests inside the Skyscan 1275 microtomography machine acquired by the Center of Mechanical Technology and Automation (TEMA). The *Skyscan 1275* allows, through a non-destructive method, to analyze the structure of an object using X-rays, being the objective of this project to maximize its applications. It was developed a project from the idea to the functional prototype, passing through successive iterations, which was tested in real environment. A compression test of a polyurethane (PU) sample was occurred where it was possible to perform an analysis on its deformation. This project has covered various areas of engineering from mechanical design to electronics, culminating in a mechanism that compresses samples up to $20 \times 20 \times 17 \text{ mm}^3$, controlled by the software *Termite*.

Índice

Lista de Tabelas.....	iii
Lista de Figuras.....	v
Lista de Siglas.....	ix
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Skyscan 1275.....	3
1.3 Material Testing Stages (MTS).....	9
2 Geração do Conceito	15
2.1 Ante-Projeto.....	15
2.2 Evolução do conceito	17
3 Validação do Conceito	25
3.1 Motor.....	25
3.2 Engrenagens	28
3.3 Veios e casquilhos	33
3.3.1 Cálculo à Cedência.....	41
3.3.2 Cálculo à Rigidez.....	45
3.4 Célula de carga.....	47
3.5 Compartimento da amostra	51
3.6 Cálculos estruturais	55
3.6.1 Parafusos.....	56
3.6.2 Chaveta	60
4 Construção da Miniprensa	63
4.1 Fabrico.....	63
4.2 Montagem	66
5 Eletrónica	73
5.1 Comunicação	73
5.2 Componentes	76
5.2.1 <i>Arduino Nano</i>	76
5.2.2 MAX232	77
5.2.3 <i>Driver</i> do motor (DRV8834).....	78
5.2.4 <i>INA 125</i>	79
5.2.5 Módulo de regulação de tensão LM2596.....	81
5.3 Esquema elétrico	82
5.3.1 Código <i>Arduino</i>	83
5.3.2 Montagem do circuito elétrico	84

6	Testes e Resultados	85
6.1	Validação	85
7	Considerações Finais	91
7.1	Conclusão	91
7.2	Propostas de trabalho futuro	91
A	Ficha técnica do motor	95
B	Desenhos	97
C	<i>Datasheet INA125</i>	99
D	<i>Datasheet MAX232</i>	101
E	Esquema elétrico	103
F	Código <i>Arduíno</i>	105
G	Dados de configuração da digitalização	107
H	Resultados da análise da amostra não comprimida	109
I	Resultados da análise da amostra comprimida	111

Lista de Tabelas

1.1	Skyscan 1275 - Especificações técnicas [1].	6
1.2	Skyscan 1275 - Requisitos habituais de <i>Hardware</i>	8
2.1	Propriedades gerais do aço DIN Ck45 [2].	20
3.1	Características gerais do motoredutor [3].	27
3.2	Características geométricas gerais das engrenagens	32
3.3	Validação dos casquilhos quando sujeitos a força de reação equivalente. . .	41
3.4	Validação dos casquilhos quando sujeitos a força de reação equivalente. . .	41
3.5	Validação do compartimento da amostra.	54
3.6	Excerto da tabela de escolha de parafusos segundo a norma VDI 2230 [4].	58
3.7	Validação da escolha dos parafusos.	60
3.8	Validação da chaveta.	62

Lista de Figuras

1.1	Esquema de funcionamento de uma maquina de microtomografia. Adaptada de [5].	2
1.2	Esquema de funcionamento de uma máquina de TAC [6].	2
1.3	Equipamento Skyscan 1275 [1].	3
1.4	Análise a uma amostra de fibra de vidro - $3.8 \mu m$ resolução isotropica, $1944 \times 1944 \times 538$ pixeis [1].	4
1.5	Análise a um osso - $11 \mu m$ resolução isotropica, $1944 \times 1944 \times 2637$ pixeis. [1].	5
1.6	Análise a um limão - $29 \mu m$ resolução isotropica, $1944 \times 1944 \times 2650$ pixeis [1].	5
1.7	Dimensões (mm) e peso do Skyscan 1275 [1].	6
1.8	Interior da Skyscan 1275 com a medição da altura do espaço.	7
1.9	Ligação eléctrica, 4 pinos.	7
1.10	Carregador automático de amostras [1].	8
1.11	<i>Micro-Positioning Stage</i> [7].	9
1.12	<i>Cooling and Heating Stages</i> [7].	10
1.13	<i>Material Testing Stage 1</i> [7].	11
1.14	<i>Material Testing Stages 2</i> [7].	12
1.15	<i>Material Testing Stage 3</i> [7].	13
2.1	<i>Led de verificação da passagem de corrente na ficha.</i>	16
2.2	<i>Ligação do TX ao RX.</i>	16
2.3	<i>Verificação da conexão ao computador.</i>	17
2.4	Espaço útil para construção da prensa.	18
2.5	Diagrama esquemático da prensa.	19
2.6	Esquema cinemático.	19
2.7	Evolução dos modelos até ao produto final.	21
2.8	Vista em corte do sistema.	22
2.9	Modelo final do sistema.	23
3.1	Esquema de um motor de passo bipolar de quatro fios [8].	25
3.2	Motor de passo bipolar de quatro fios [8].	26
3.3	Motorreductor. Motor de passo: Nema 11, reductor 100:1 [3].	27
3.4	Estudo do tamanho das engrenagens para um $m_n = 2$	28
3.5	Representação dos veios e casquilhos do sistema.	34
3.6	Representação das forças de engrenamento nos veios.	35
3.7	Posição dos apoios nos veios.	35

3.8	Representação do cálculo das reações quando a barra está sujeita a força radial (F_r).	36
3.9	Representação do cálculo das reações quando a barra está sujeita a força tangencial (F_t).	37
3.10	Representação do cálculo das reações quando a barra está sujeita a força radial (F_r).	38
3.11	Simulação numérica para o cálculo das reações quando a barra está sujeita a força radial (F_r).	38
3.12	Casquilho PAF-P11 da PolyLanema e sua geometria.	39
3.13	Representação das forças que atuam nos casquilhos.	39
3.14	Representação da área circular total do casquilho.	40
3.15	Representação da área de esmagamento do casquilho.	41
3.16	Gráfico do momento fletor originado pela força radial no veio 1.	42
3.17	Gráfico do momento fletor originado pela força tangencial no veio 1.	43
3.18	Gráfico do momento fletor originado pela força radial no veio 2.	44
3.19	Gráfico do momento fletor originado pela força tangencial no veio 2.	44
3.20	Gráfico da flecha no ponto de engrenamento no veio 1.	45
3.21	Gráfico das rotações nos apoios no veio 1.	46
3.22	Gráfico da flecha no ponto de engrenamento no veio 2.	46
3.23	Gráfico das rotações nos apoios no veio 2.	46
3.24	Ponte de <i>Wheatstone</i>	47
3.25	Ponte de <i>Wheatstone</i> com extensómetros.	48
3.26	Imagem CAD do disco da célula de carga.	48
3.27	Célula do banco de ensaio.	49
3.28	Gráfico Força/Deslocamento resultante do ensaio de compressão.	49
3.29	Disposição dos extensómetros colados.	50
3.30	Ligações dos extensómetros.	50
3.31	Teste da célula de carga.	51
3.32	Comparação de gráficos da leitura da célula de carga.	51
3.33	Geometria final do compartimento da amostra.	52
3.34	Compartimento com tampa de parafusos.	52
3.35	Compartimento com tampa de encaixe.	53
3.36	Representação da área sujeita ao corte.	53
3.37	Representação da área sujeita ao esmagamento.	54
3.38	Representação dos apoios.	54
3.39	Representação da malha considerada na simulação.	55
3.40	Representação da malha considerada na simulação.	55
3.41	Representação dos parafusos existentes na prensa.	56
3.42	Estrutura da prensa sujeita a cargas elevadas.	57
3.43	Vista de topo da prensa.	57
3.44	Cálculo das reações nos parafusos.	58
3.45	Tipos de solicitações possíveis nos parafuso [4].	59
3.46	Vista em corte da ligação com parafuso.	60
3.47	Chaveta paralela.	61
3.48	Representação da força F_t a atuar na chaveta.	61
4.1	À esquerda o centro de maquinagem e à direita o torno convencional.	63

4.2	À esquerda a serra de disco e à direita a maquina de polimento.	64
4.3	Jogo de machos.	64
4.4	Veio e engrenagens acoplados.	65
4.5	Peças a secar após aplicação do revestimento.	65
4.6	Correção efetuada na parte inferior da base dos rolamentos.	66
4.7	Suporte da porca e da célula de carga corrigida.	66
4.8	Peças principais do sistema.	67
4.9	Conjunto base + motor + varões de suporte.	67
4.10	Conjunto base engrenagens + engrenagens.	68
4.11	Conjunto porca + célula de carga + fuso.	68
4.12	Conjunto compartimento da amostra.	69
4.13	Montagem do conjunto 1 com o conjunto 3.	69
4.14	Montagem do conjunto 1 com o conjunto 3.	70
4.15	Montagem do conjunto 1 com o conjunto 3.	70
4.16	Montagem do conjunto 1 com o conjunto 3.	71
5.1	Mensagem em bits obtida pelo osciloscópio.	74
5.2	Comunicação RS-232 vs TTL.	74
5.3	Conversor RS-232 para USB ligado à ficha interior do <i>scanner</i>	75
5.4	Montagem mínima para comunicação entre o <i>arduino</i> e computador.	75
5.5	<i>Arduino Nano</i>	76
5.6	Vista de cima do Arduino Nano.	76
5.7	Integrado <i>MAX232</i>	77
5.8	Ligações necessárias para o funcionamento do <i>MAX232</i>	77
5.9	Placa de circuitos com as ligações do <i>MAX232</i>	78
5.10	<i>Driver</i> DRV8834.	78
5.11	Ligações mínimas para controlo do motor de passo segundo o fabricante.	79
5.12	INA 125.	80
5.13	Esquema elétrico do INA 125.	80
5.14	Placa de circuitos com as ligações do INA 125.	81
5.15	Dados de saída do <i>INA</i> recebidos pelo computador.	81
5.16	Módulo de regulação de tensão LM2596.	82
5.17	Vista superior do módulo de regulação de tensão LM2596.	82
5.18	Diagrama de blocos representativo do esquema elétrico.	83
5.19	Disposição dos componentes eletrónicos na prensa.	84
6.1	Teste da prensa fora do ambiente de trabalho.	85
6.2	Prensa dentro do <i>scanner</i>	86
6.3	Eixos de movimentação da plataforma do <i>scanner</i> (na origem) e cone criado pelo raio-X.	86
6.4	Amostra de poliuretano (PU).	87
6.5	Valores de tensão lidos no terminal do computador.	87
6.6	Projeções obtidas nas digitalizações efetuadas.	88
6.7	Fatias resultantes da reconstrução das projeções.	88
6.8	Vista em corte do modelo 3D com escala de densidade.	89

Lista de Siglas

DEM-UA – Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

TEMA-UA – Centro de Tecnologia Mecânica e Automação da Universidade de Aveiro

microCT – *Micro computed Tomography* (microtomografia computadorizada)

MTS – Material Testing Stages (Estagio de teste de material)

P – Potência

K_M – Fator de efeito dinâmico

K_{bl} – Fator de fadiga por flexão

C_L – Fator de largura

$\sigma_{blimite}$ – Tensão limite de fadiga à flexão

n – Rotação por minuto (rpm)

K_A – Fator de alinhamento

Z – Numero de dentes

Y_ϵ – Fator de Condução

Y_F – Fator de concentração de tensões à flexão

u – Relação de transmissão

α – Angulo de pressão

ν – Coeficiente de *Poisson*

E – Modulo de elasticidade

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

Da necessidade de se conhecer cada vez melhor os diferentes tipos de materiais, quer na sua composição quer na sua estrutura, e com a evolução da tecnologia nos últimos anos, surgiram novas técnicas de os analisar. Uma dessas tecnologias foi a *Micro Computed Tomography* (microCT) que em português é conhecida simplesmente por microtomografia.

A microtomografia é um método não destrutivo que permite analisar ao pormenor a estrutura de um objecto feito de diferentes tipos de materiais (metais, madeira, compósitos, alimentos, ossos, eletrónica, materiais de construção, geologia, ect.). Consiste em adquirir, de diferentes ângulos, imagens de raios-X de um objeto que serão convertidas computacionalmente numa figura tridimensional (3D). Inicialmente é gerado um micro feixe raio-X pela máquina que ilumina o objeto, atravessando-o e acabando por incidir num detetor plano que vai armazenar a imagem obtida e enviar para o computador para processamento (Figura 1.1). Com a rotação da amostra a analisar, são obtidas múltiplas imagens que após a reconstrução das mesmas irão dar origem a uma figura tridimensional detalhada com informação da sua estrutura interna. [9].

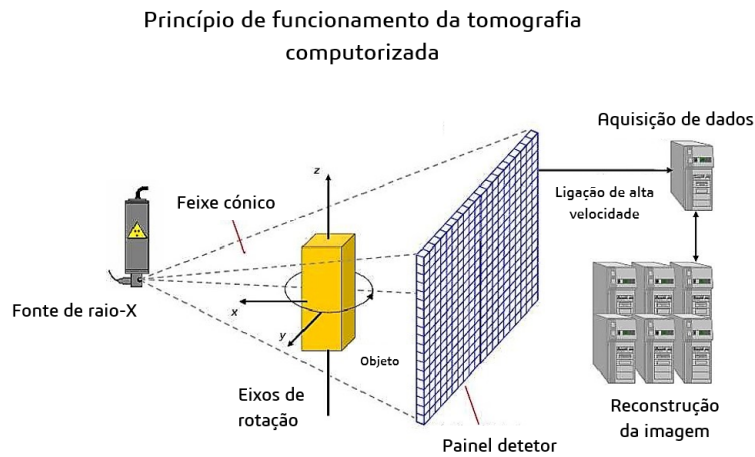


Figura 1.1: Esquema de funcionamento de uma máquina de microtomografia. Adaptada de [5].

O método aqui descrito é semelhante ao usado pelos hospitais para fazer Tomografias Axiais Computorizadas (TACs) para detetar diversos tipos de lesões em pacientes, com a diferença que a microCT é usada numa escala muito inferior e com uma resolução muito superior (Figura 1.2). Naturalmente, nas TACs, a rotação é feita pelo emissor-detetor.

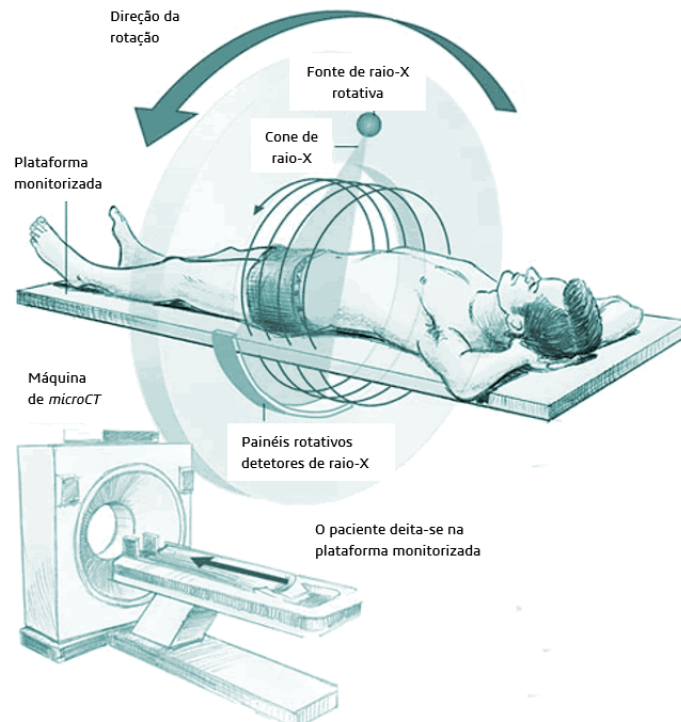


Figura 1.2: Esquema de funcionamento de uma máquina de TAC [6].

Recentemente, o Centro de Tecnologia Mecânica da Universidade de Aveiro (TEMA-

UA), adquiriu uma máquina de microtomografia, a Skyscan 1275, da empresa Bruker. O objetivo com a aquisição desta máquina é analisar a estrutura interna de diversos materiais, por exemplo, porosos ou celulares, permitindo detetar defeitos internos e, assim, estudar soluções para os minimizar. Tendo sido um grande investimento, interessa potenciar ao máximo as suas aplicações para efeitos de investigação, daí surgir este projeto de criar uma miniprensa capaz que realizar ensaios de compressão no interior da máquina. Criando esta nova funcionalidade na máquina ampliam-se as potencialidades da mesma em análise estrutural de materiais. A miniprensa, com capacidade de realizar ensaios de compressão com 5kN de força, vai ser muito importante em análise de materiais quando sujeitos a forças. Sem a miniprensa so é possível fazer a leitura (*scan*) de amostras em repouso.

No mercado é possível encontrar soluções de miniprensas capazes de responder a esta necessidade, a própria empresa Bruker fabricante da microCT Skyscan 1275, disponibiliza algumas (exemplo da MTS3). No entanto, o seu elevado custo e o facto de este projeto ser pedagogicamente interessante levou a que fosse criada a oportunidade de se fabricar uma miniprensa no seio do DEM-UA.

1.2 Skyscan 1275

A Bruker foi fundada a 7 de Setembro de 1960 na Alemanha. O seu nome vem de um dos seus co-fundadores Emil Bruker. É conhecida mundialmente pelos diversos tipos de instrumentos científicos de alto desempenho que produz. Atualmente, com sede nos Estados Unidos da América, em Massachusetts, a empresa tem diversas áreas de negocio espalhadas por 90 locais distintos em todos os continentes e conta com mais de 6000 funcionários [10] [11].

No início dos anos 80, a BRUKER começou a apostar na pesquisa e desenvolvimento de microscopia de raio-X. Entre 1983 e 1987 apareceram os primeiros resultados que foram sendo publicados em revistas científicas e conferências internacionais. Devido ao desenvolvimento conseguidos, foi criado em 1996, na Bélgica, a Bruker-microCT. Em 2001 é lançado para o mercado o primeiro *scanner* de microCT de alta resolução. A Bruker deu o nome de Skyscan à sua linha de *scanners* de microtomografia, contando com diversos equipamentos para diferentes aplicações. Em 2017 foi lançado o Skyscan 1275 (Figura 1.3) [11].



Figura 1.3: Equipamento Skyscan 1275 [1].

O Skyscan 1275, adquirida pelo TEMA-UA, é um *scanner* microCT de mesa (*desktop*), que se diferencia dos outros Skyscan pela sua velocidade de leitura e a sua facilidade de uso. Em 80 segundos consegue-se obter um *scan* completo de uma amostra. É possível fazer o trabalho com uma trajetória circular, ou em espiral de acordo com a amostra em análise. Com a aquisição desta máquina o TEMA-UA pretende analisar a estrutura interna de materiais compósitos, porosos ou celulares de forma não destrutiva. Devido à elevada resolução do *scanner* vai ser possível detetar os mais variados defeitos, bem como a analisar a estrutura interna, e assim proceder ao estudo mais eficaz sobre esta matéria. O facto de ser uma análise não destrutiva alarga bastante o leque de amostras possíveis, pois não serão danificadas no decorrer do *scanner*, caso da análise se seres vivos. Esta tecnologia destaca-se pela grande variedade de materiais que podem ser analisados, desde os compósitos (Figura 1.4), materiais de construção, electrónica, ossos (Figura 1.5), alimentos (Figura 1.6), rochas, etc.

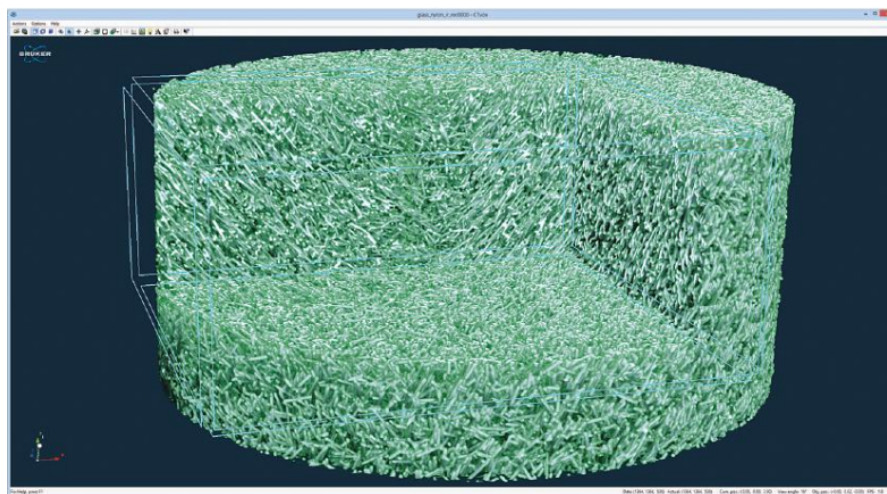


Figura 1.4: Análise a uma amostra de fibra de vidro - $3.8 \mu\text{m}$ resolução isotropica, $1944 \times 1944 \times 538$ pixels [1].

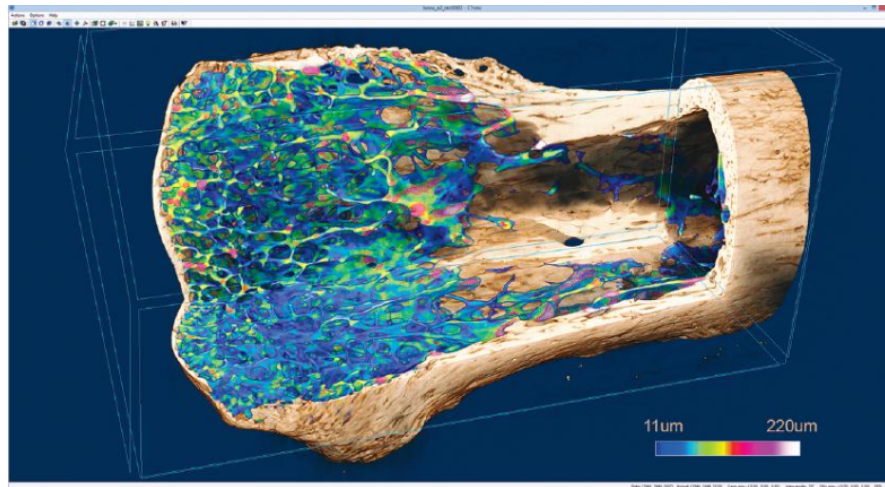


Figura 1.5: Análise a um osso - 11 μm resolução isotrópica, $1944 \times 1944 \times 2637$ pixels. [1].



Figura 1.6: Análise a um limão - 29 μm resolução isotrópica, $1944 \times 1944 \times 2650$ pixels [1].

O Skyscan 1275 sendo um *scanner* de *desktop* tem dimensões reduzidas que se adequam a uma simples mesa tipo secretária (Figura 1.7).

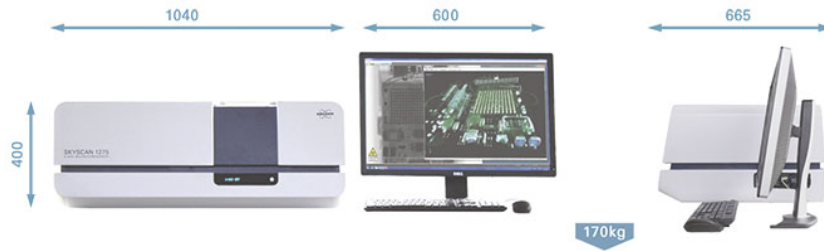


Figura 1.7: Dimensões (mm) e peso do Skyscan 1275 [1].

As especificações técnicas do Skyscan 1275 encontram-se na tabela 1.1. De notar que sendo o objectivo deste projeto a criação de uma miniprensa para a realização de ensaios de compressão no interior do *scanner*, aspetos como o espaço de *scanner* e fonte de alimentação são essenciais. Estes dados vão ser o ponto de partida para a elaboração dos primeiros conceitos de modo a garantir que no final a miniprensa tem a volumetria e os componentes para o bom funcionamento.

Tabela 1.1: Skyscan 1275 - Especificações técnicas [1].

Dimensões	$1040 \times 665 \times 400$ [mm]
Peso	170 kg
Fonte raio-X	20-100 kV, 10 W, $< 5\mu m$ dimensão da incidência
Detetor raio-X	2 Mp (1944 \times 1536) painel plano com tecnologia CMOS de pixel ativo
Resolução nominal	$< 4\mu m$
Volume reconstruído	até 1944 \times 1944 \times 1160 pixels
Espaço de scanner	96 mm de diâmetro e 120 mm de altura
Segurança contra radiação	$< 1\mu Sv/h$ em qualquer ponto da superfície do equipamento
Fonte de energia	100-240 V AC, 50-60 Hz, 3 A

Embora o espaço de *scanner* seja de 120 mm de altura, ou seja, altura em que é possível digitalizar uma amostra, como é possível observar pela figura 1.8, o espaço disponível no interior é maior. Esse espaço pode ser utilizado para a construção da prensa pois mesmo sendo superior ao alcance do *scanner* a plataforma circular permite a regulação de altura, e assim posicionar a amostra dentro da amplitude do raio-X.

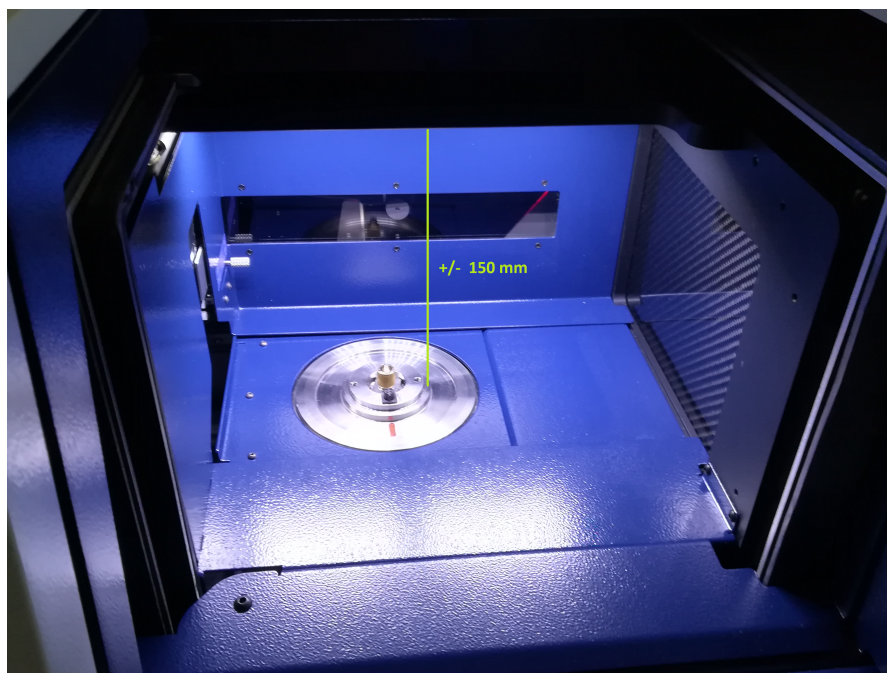


Figura 1.8: Interior da Skyscan 1275 com a medição da altura do espaço.

No interior do Skyscan 1275 existe uma ligação eléctrica de quatro pinos (Figura 1.9) que pode ser usada para controlar algum assessorio.

Segundo o fabricante:

- **Pino 1:** Terra - 0 V;
- **Pino 2:** Transmissor - TX;
- **Pino 3:** Receptor - RX;
- **Pino 4:** Alimentação - 5 V (500 mA max).

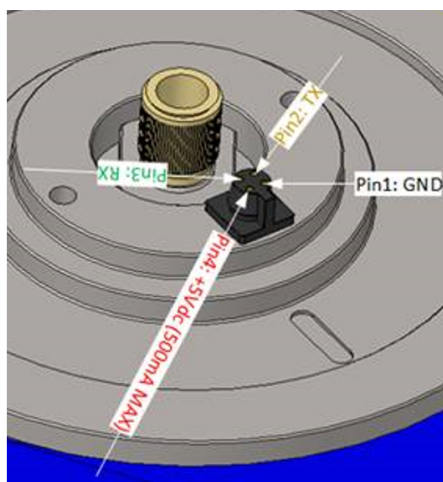


Figura 1.9: Ligação eléctrica, 4 pinos.

No entanto, foi detetado, numa fase já avançada no projeto, que houve um erro por parte do fabricante e que a tensão da tomada é de 12 V e não 5 V, como previamente assumido.

O processo de reconstrução da imagem 3D, a partir dos diferentes raios-X, requerem, para um bom funcionamento, uma capacidade de processamento do computador elevada. Para isso é necessário que o computador cumpra os requisitos mínimos nos diferentes componentes (Tabela 1.2).

Tabela 1.2: Skyscan 1275 - Requisitos habituais de *Hardware*

Componentes	
Processador	Dual-core Intel XEON
Memoria RAM	64 GB / 2133 MHz
Espaço de Disco (HDD)	8 TB + 512 GB SSD
Placa Gráfica	4 GB NVIDIA Quadro
Monitor	24"LED LCD (1920 × 1200)

O Skyscan vem preparado para, caso pretendido, colocar um carregador automático de amostras (Figura 1.10). Este carregador tem 16 posições para amostras, que não podem ter mais que 50mm de altura, e pode ser útil quando se quer poupar tempo entre *scanners*.



Figura 1.10: Carregador automático de amostras [1].

A Bruker disponibiliza também uma gama de acessórios designados por *Material Testing Stages* (MTS), com diferentes aplicações, para a realização de ensaios onde as amostras são submetidas a forças de tração ou compressão no interior do Skyscan 1275. Entre as opções disponibilizadas existe o MTS3, que é uma miniprensa capaz de realizar ensaios de 2200 N ou 4400 N de força nas amostras. O MTS3 é a principal referência para a elaboração deste projeto, pois dos acessórios disponibilizados é aquele que cumpre

com as especificações pretendidas.

1.3 Material Testing Stages (MTS)

Dependendo do tipo de análise que se quer fazer, pode ser necessário submeter ao objeto, a analisar, condições especiais, que vão desde temperaturas diferentes da ambiente até forças de tração ou compressão, entre outras. Para resolver esse problema e aumentar as potencialidades dos Skyscan a Bruker criou uma gama de acessórios onde é possível manipular as amostras no interior dos *scanners* e assim realizar um estudo mais aprofundado e otimizado sobre as mesmas. Neste conjunto de acessórios existem três tipos:

- ***Micro-Positioning Stages*** (Estágios de micro posicionamento);
- ***Cooling and Heating Stages*** (Estágios de arrefecimento e aquecimento);
- ***Material Testing Stages*** (Estágios de testes de materiais).

O *Micro-Positioning Stage* (Figura 1.11) é um acessório para ajudar a posicionar amostras com dimensões muito reduzidas, e assim, aumentar significativamente a qualidade da digitalização, permitindo a máxima ampliação possível do objecto e otimizando o tempo do processo.

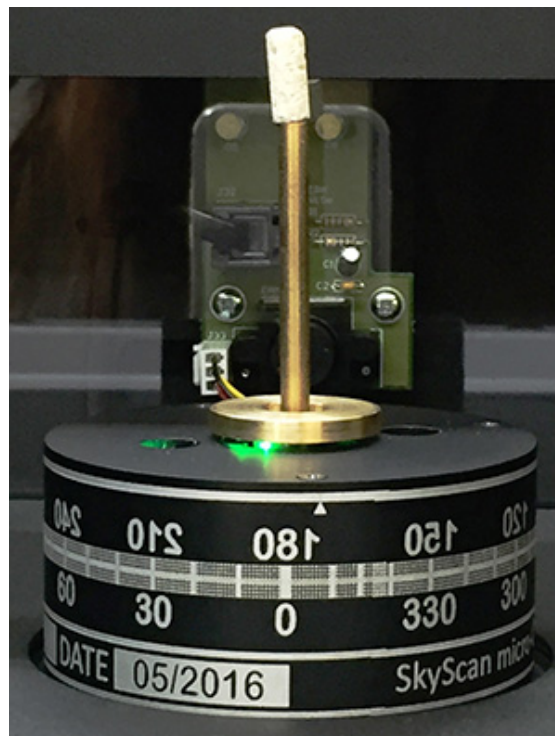


Figura 1.11: *Micro-Positioning Stage* [7].

A *Cooling and Heating Stages* (Figura 1.12) é um acessório capaz de submeter a amostra, a analisar, a variações de temperatura desde, -40 °C a 85 °C.

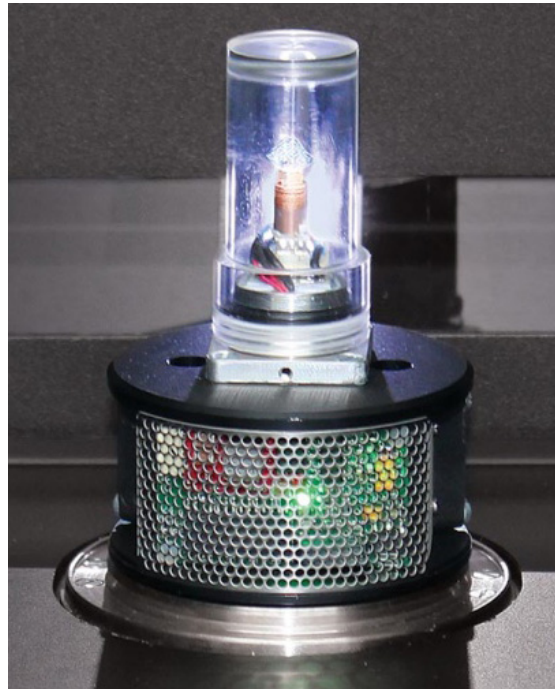


Figura 1.12: *Cooling and Heating Stages* [7].

O *Material Testing Stage* é um acessório que permite combinar as digitalizações do micro-CT com ensaios de compressão ou tração. Entre digitalizações são aplicadas forças na amostra, que irão provocar deformações. É possível optar entre dois modos de ensaios. Num dos modo a força é aplicada em contínuo até chegar à carga máxima ou deslocamento máximo, enquanto noutro, a carga ou o deslocamento pretendidos são especificados antes do ensaio. É possível acompanhar em tempo real a evolução do ensaio através de gráficos de curvas de carga/deslocamento e tensão/deformação que posteriormente podem ser guardadas para análise. Existem três modelos de MTSs para diferentes aplicações.

- *Material Testing Stage 1*;
- *Material Testing Stage 2*;
- *Material Testing Stage 3*.

O primeiro modelo, o MTS 1 (Figura 1.13), não é compatível com a Skyscan 1275, no entanto no ponto de vista da construção mecânica dá uma perspetiva diferente relativa a MTS2 e MTS3, pois neste a força é exercida manualmente pela parte superior da amostra. Capaz de realizar ensaios de tração e compressão, é uma boa opção quando não são necessários ensaios que impliquem muita força, pois o seu máximo é 440N. Algumas das suas características técnicas são:

- **Força máxima:** 44 N, 220 N, 440 N;
- **Precisão do sensor de deslocamento:** $\pm 0.01 \text{ mm}$;

- **Precisão da célula de carga:** $\pm 1 \%$ do valor indicado ;
- **Diâmetro máximo da amostra:** 20 mm;
- **Curso máximo:** 5,5 mm;
- **Altura máxima da amostra para compressão:** 23 mm;
- **Comprimento máximo da amostra para tração:** 18 mm.

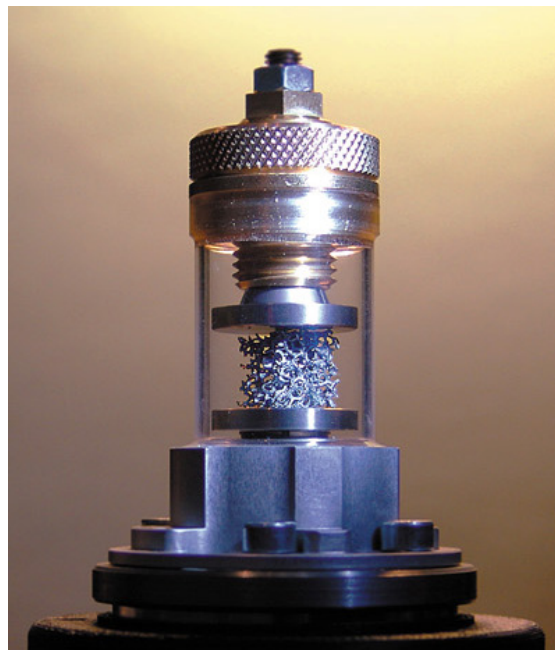


Figura 1.13: *Material Testing Stage 1* [7].

O MTS2 (Figura 1.14), diferencia-se dos restantes (MTS1 e MTS3) pelo facto da aplicação da sua carga ser simétrica, ou seja, aplica o mesmo módulo da força em cima e em baixo, quer nos ensaios de compressão quer nos ensaios de tração. Esta característica do MTS2 é bastante relevante em alguns casos pois permite que o centro da amostra fique estático ao longo do ensaio. Algumas das características técnicas são:

- **Força máxima:** 44 N, 220 N, 440 N;
- **Precisão do sensor de deslocamento:** ± 0.01 mm;
- **Precisão da célula de carga:** $\pm 1 \%$ do valor indicado ;
- **Diâmetro máximo da amostra:** 20 mm;
- **Curso máximo:** 11 mm;
- **Altura máxima da amostra para compressão:** 24 mm;
- **Comprimento máximo da amostra para tração:** 20 mm.

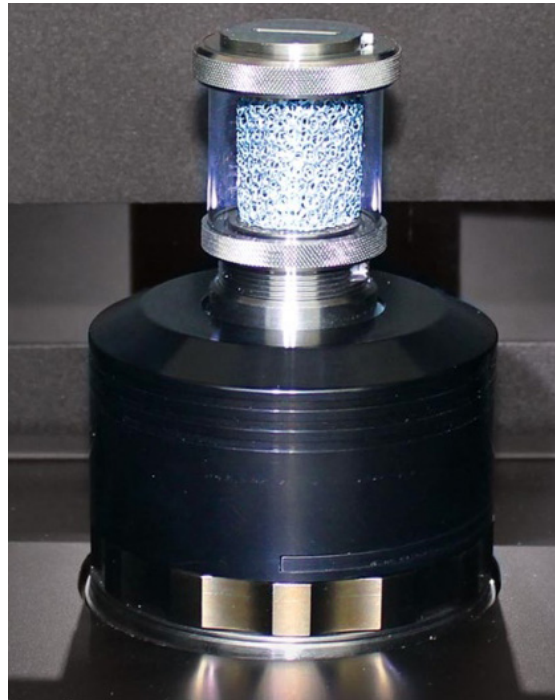


Figura 1.14: *Material Testing Stages 2* [7].

O MTS3 (Figura 1.15), é o única capaz de exercer cargas perto das 5kN como pretendido no projeto. Tal facto faz com que este seja a principal referência na elaboração do projeto. A sua grande limitação é a capacidade de apenas fazer ensaios de compressão.

- **Força máxima:** 2200 N, 4400 N;
- **Precisão do sensor de deslocamento:** $\pm 0.01 \text{ mm}$;
- **Precisão da célula de carga:** $\pm 1 \%$ do valor indicado ;
- **Diâmetro máximo da amostra:** 22 mm;
- **Curso máximo:** 5,5 mm;
- **Altura máxima da amostra:** 20 mm;

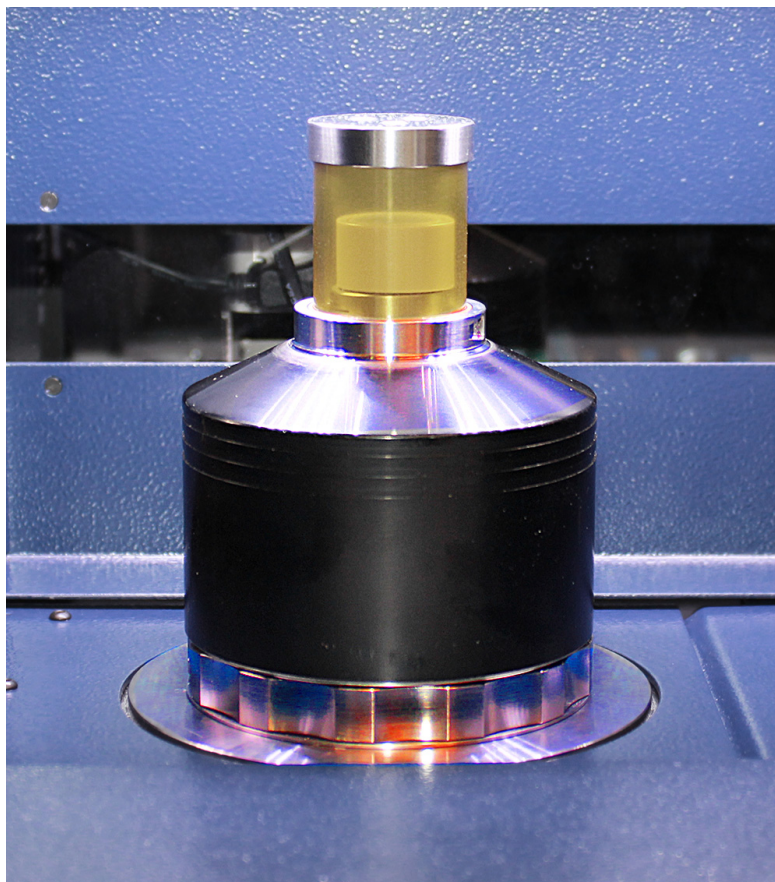


Figura 1.15: *Material Testing Stage 3* [7].

Concluindo uma análise comparativa, é possível verificar que todas as MTS têm aspectos relevantes ao projeto em causa. Inevitavelmente a MTS3 é a que se mais aproxima do pretendido devido à sua capacidade de carga de 4400N ser a mais próxima de 5000N. No entanto a opção construtiva da MTS1 é bastante interessante e a carga simétrica da MT2 é uma característica que seria interessante incluir na miniprensa a projetar.

Capítulo 2

Geração do Conceito

2.1 Ante-Projeto

Reunidos todos os elementos que fazem parte da envolvente do projeto, é necessário realizar um estudo sobre qual o processo mais viável a seguir para a elaboração do mesmo. A questão que agora se impõe recai sobre a alimentação energética da prensa, a sua comunicação e controle com o computador. Sendo que se trata de colocar uma prensa no interior de um *scanner* raio-X, a segurança do utilizador é fundamental, logo a solução não pode passar por alterar a estrutura da máquina. A blindagem da máquina, ao não permitir a passagem de raios-X para o exterior é extremamente importante para a segurança, e não é exequível qualquer solução que ponha isso em causa. Tendo este facto em conta, chegou-se à conclusão que as duas melhores hipóteses possíveis, seriam usar a ficha que já se encontra no interior da máquina, ou fazer passar um cabo para o exterior juntamente com os cabos do próprio *scanner*.

Sendo a ficha do interior da máquina destinada à ligação dos MTSs, foi essa a primeira abordagem escolhida. Para isso, sabendo através do fabricante o significado de cada pino da tomada, criou-se um pequeno circuito, apenas com um led e uma resistência em série, que se ligou aos pinos de tensão, para verificar a existência de corrente na ficha (Figura 2.1).

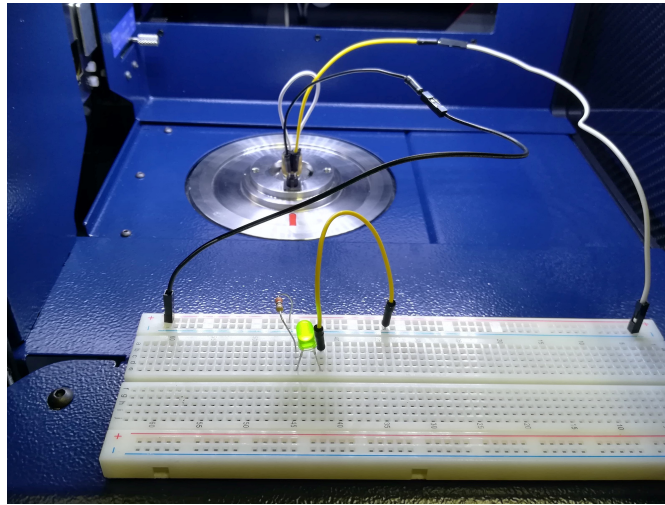


Figura 2.1: *Led de verificação da passagem de corrente na ficha.*

Desta forma, e pelo facto de o led ter acendido, ficou confirmada a passagem de corrente da ficha. Resta agora saber se é possível usar a mesma ficha para comunicar com o computador e assim fazer o controlo da prensa. Para a verificação da comunicação entre a ficha e o computador, efectuou-se um simples teste. Ligou-se o pino receptor ao pino emissor através de um fio (Figura 2.2).

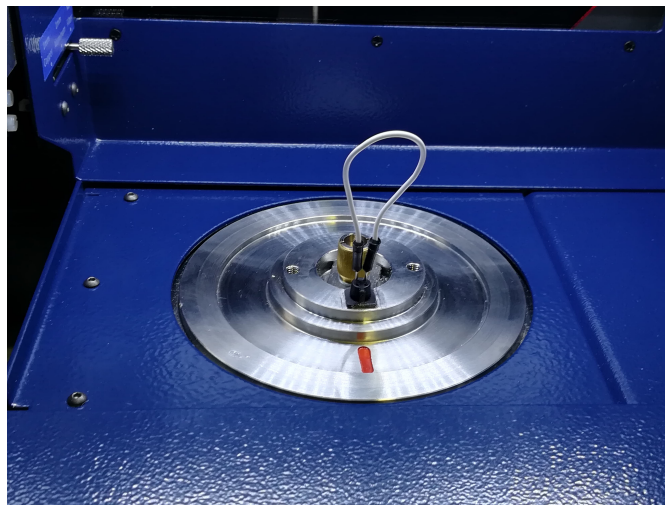


Figura 2.2: *Ligação do TX ao RX.*

Depois, instalou-se no computador um *software* que permitisse enviar e receber/ler mensagens pelas portas COM do mesmo. O programa escolhido foi o *Termite 3.4*. A ideia é simples, como temos o TX e o RX da ficha ligados, ao enviar pela porta COM uma mensagem, esta será retornada imediatamente de volta ao computador, e assim verifica-se se há comunicação ou não entre a ficha e o computador. O resultado desta experiência foi positivo, pois como se pode ver pela figura 2.3, a azul está a mensagem enviada pelo computador para a ficha, e a verde está a mensagem enviada pela ficha para o computador.

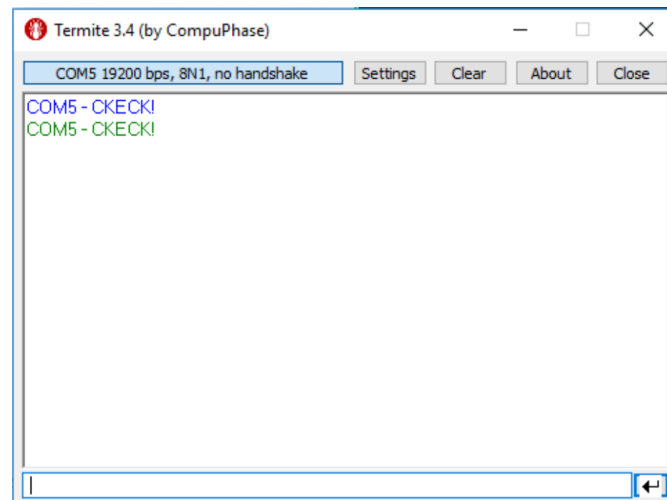


Figura 2.3: Verificação da conexão ao computador.

Fica assim validada a utilização deste recurso para a comunicação entre a prensa e o computador.

2.2 Evolução do conceito

É então possível iniciar o processo de geração de conceito, uma vez que, após a análise ao *Skyscan* 1275 ficaram a conhecer-se as limitações físicas que terão que ser respeitadas no projecto, e com a análise aos modelos de miniprensas existentes no mercado obteve-se valores que serviram como referência no projecto. É possível então quantificar medidas volumétricas e especificações iniciais a incorporar no projeto. Como visto anteriormente o espaço no interior do *scanner* é de aproximadamente 150 *mm* de altura, no entanto, por uma questão de acessibilidade, considerou-se que o máximo que a prensa pode ter é 140 *mm*. O espaço útil para a concepção da prensa é um cilindro de 96 *mm* diâmetro e 140 *mm* de altura, como representado na figura 1.8.

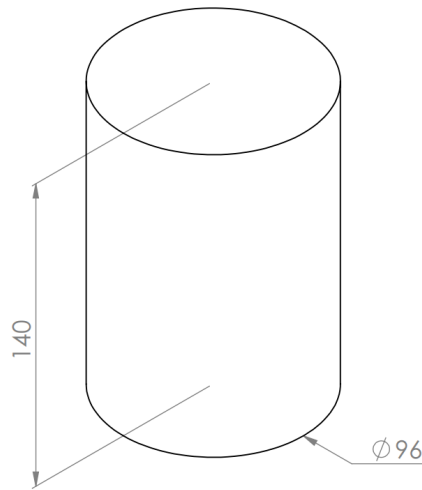


Figura 2.4: Espaço útil para construção da prensa.

Obtendo este espaço como limitação física do projeto, interessa encontrar uma solução que a respeite. Como a utilização do produto resultante deste projeto tem uma finalidade meramente académica e científica no seio da universidade, não sendo alvo de comercialização, a questão funcional subrepôs-se totalmente à questão estética. Devido à finalidade do produto optou-se por uma abordagem *Bottom-Up* para o seu desenvolvimento. Ao contrário da abordagem *Top-Down* em que o *design* é o principal foco no desenvolvimento, ou seja, primeiro o foco é o resultado final e só depois o desenvolvimento dos sistemas que o compõem, na abordagem *Bottom-Up* o foco do desenvolvimento é a funcionalidade, sendo que o aspeto final será o resultado do conjunto de sistemas desenvolvidos [12].

Na realização dos primeiros esboços, devido às condições de alimentação da prensa, tornou-se óbvio que a fonte cinemática teria que ser um motor elétrico. Após uma análise dos tipos de motores disponíveis, concluiu-se que a melhor opção seria um motor de passo, pois é um motor que consegue realizar um binário elevado tendo dimensões reduzidas e é fácil de ser controlado.

Para a realização da compressão da amostra, era necessário um componente mecânico que efectuasse um movimento vertical ascendente e descendente. A solução encontrada para esta necessidade foi a utilização de um fuso trapezoidal com uma porca, pois cumpre os requisitos pretendidos. Ponderou-se a utilização de um fuso de esferas, que tem uma eficiência melhor, mas além de ser economicamente mais dispendioso, as suas dimensões são maiores. Na ligação cinemática entre o motor e o fuso aproveitou-se para amplificar o binário do motor através de engrenagens.

A disposição dos componentes foi pensada para as limitações físicas do espaço. Inicialmente, efetuou-se um estudo preliminar para descobrir qual a melhor disposição dos componentes para a finalidade desejada. Na Figura 2.5 encontra-se a disposição dos componentes cinemáticos em forma de blocos, que serve como orientação para o início do dimensionamento dos mesmos. Através desta figura é possível começar a ter uma ideia de como os componentes vão interagir entre si e detetar possíveis problemas numa fase inicial do projeto.

1. **Motor de passo:** Fonte cinemática, alimentado pela tomada no interior do *scanner*.
2. **Engrenagem - Pinhão:** Acionada pelo motor, transmite potência para a roda.
3. **Engrenagem - Roda:** Acionada pelo pinhão, transmite potência ao fuso. Devido ao facto do diâmetro da roda ser superior à do pinhão o binário transmitido pelas engrenagens vai ser aumentado.
4. **Fuso trapezoidal:** Acionado pela roda, é responsável pelo movimento vertical da prensa.
5. **Porca trapezoidal:** Acionado pelo fuso, vai ser nela que vai estar suportada a estrutura que efetua a compressão da amostra.

Interessa agora dimensionar os componentes e criar estruturas para os suportar assegurando o bom funcionamento dos mesmos. Para auxiliar a modelação dos componentes utilizou-se o *software SolidWorks* como ferramenta de CAD neste projeto.

Devido às baixas rotações e ao valor das forças envolvidas, os veios do sistema vão estar suportados por casquilhos. Testou-se a hipótese de usar rolamentos, mas devido ao espaço que iam ocupar esta solução foi colocada de parte.

O aço escolhido para a construção das peças da estrutura da prensa é o aço EN C45E pois é um aço fácil de maquinar e com boas propriedades mecânicas, suficientes para as solicitações mecânicas deste projeto. Na tabela 2.1 encontram-se as propriedades gerais deste aço.

Tabela 2.1: Propriedades gerais do aço EN C45E [2].

Composição (%)	$C : (0,42 - 0,50);$ $Si : 0,40; Mn :$ $(0,50 - 0,80);$ $P : 0,035;$ $S : 0,035$
Densidade	$7,84 \text{ g/cm}^3$
Tensão limite elástico	310 MPa
Módulo de elasticidade	200 GPa
Coefficiente de Poisson	$0,29$
Dureza	207 HB (Recozido)

Sabendo o aço a ser usado e as necessidades cinemáticas do projeto, desenvolveram-se os primeiros modelos. Inicialmente, o foco foi para o desenvolvimento de uma estrutura capaz de suportar os elementos cinemáticos, depois para o desenvolvimento da estrutura de suporte e, finalmente, foi realizada a otimização das peças atrás desenvolvidas através

de cálculos físicos para cumprir os requisitos do projeto. Ao longo do desenvolvimento do projeto foram aparecendo vários obstáculos que tinham que ser ultrapassados para que o projeto fosse viável. Na maioria das vezes os obstáculos estavam associados ao espaço físico limitado para o alojamento dos diversos componentes, o que levou a sucessivas alterações dos modelos. Na figura 2.7 é possível visualizar a evolução dos modelos até ao modelo final.

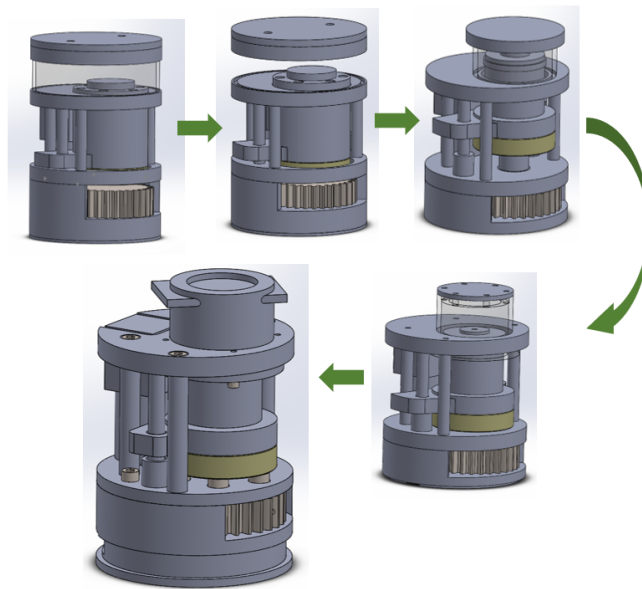


Figura 2.7: Evolução dos modelos até ao produto final.

Atingindo o modelo final, podemos verificar na figura 2.8 que o esquema cinemático foi cumprido assim como a sua estrutura de suporte.

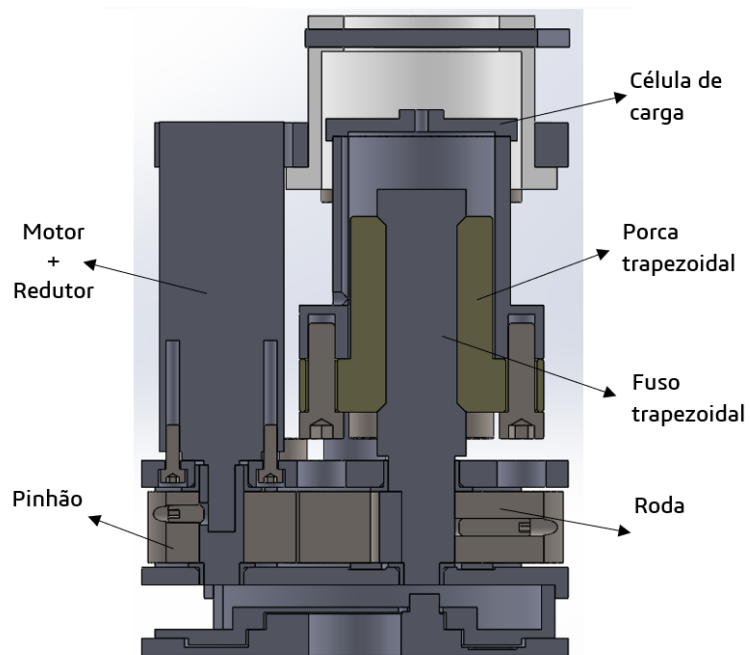


Figura 2.8: Vista em corte do sistema.

Na figura 2.9 é possível observar uma imagem isométrica do sistema final, pronto a ser fabricado.

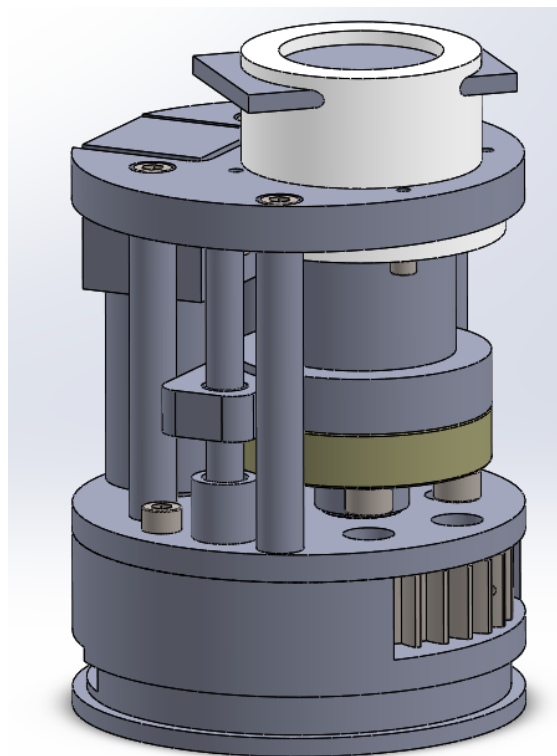


Figura 2.9: Modelo final do sistema.

Capítulo 3

Validação do Conceito

3.1 Motor

A escolha do motor é crucial para o bom funcionamento do sistema de facto, dele dependem todos os componentes cinemáticos. O motor é o ponto de partida para o dimensionamento do restante sistema, pois é nele que, devido as dimensões reduzidas impostas pelo espaço disponível e fonte de alimentação do *scanner* que reside a maior dificuldade em cumprir com os requisitos do projeto. Para o projeto em causa, devido à necessidade de uma força elevada, velocidades baixas e de precisão no controlo, optou-se por um motor de passo com um redutor planetário acoplado.

Os motores de passo convertem impulsos elétricos em rotação mecânica. Esses impulsos fazem com que o rotor do motor efetue um determinado ângulo, sendo que cada ângulo efetuado corresponde a um passo. No caso dos motores bipolares de quatro fios (Figura 3.1), normalmente têm oito enrolamentos ligados em dois circuitos. Estes dois circuitos são eletrificados alternadamente criando campos magnéticos que vão atrair o rotor, e assim gerar movimento [8].

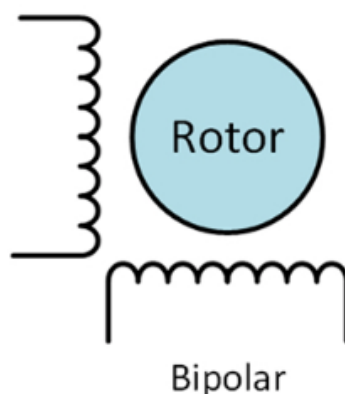


Figura 3.1: Esquema de um motor de passo bipolar de quatro fios [8].

A resolução do motor está ligada com o número de divisões do rotor e com o número de fases. Para o controlo deste tipo de motor é necessário um *driver* que permita enviar sinais (em intensidade de corrente) sequenciais para os diferentes enrolamentos. Na

Figura 3.2 é possível observar o interior de um motor de passo comum, onde são visíveis os oito enrolamentos e as divisões do rotor.

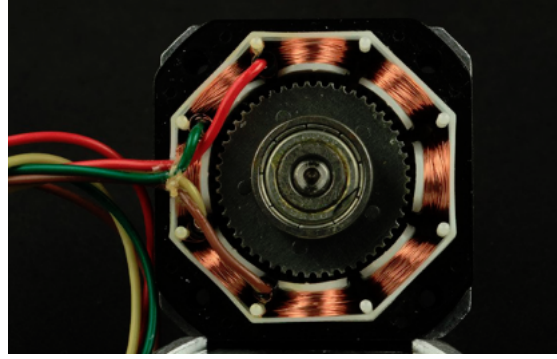


Figura 3.2: Motor de passo bipolar de quatro fios [8].

O ponto de partida para a escolha do motor foram as especificações em que o mesmo vai operar e o binário capaz de transmitir. Neste caso, a ligação elétrica no interior do *scanner* que vai alimentar o sistema tem 5 V e 500 mA. Sabendo que o motor não poderá consumir os 500 mA, pois existem outros componentes elétricos, partimos do pressuposto que o motor tem que operar a 5 V e 400 mA. O binário mínimo no fuso (M_{fuso}), tendo conhecimento do seu passo (H) e da força necessária (F), é dado pela equação 3.1.

$$M_{fuso} = \frac{F \cdot H}{2\pi} \quad (3.1)$$

A força de compressão pretendida é 5000 N e o passo do fuso é 4 mm, portanto:

$$M_{fuso} = 3,18 \text{ N.m} \quad (3.2)$$

Como o sistema entre o motoredutor e o fuso tem um par de engrenagens, o binário necessário à saída do motoredutor vai ser menor que o binário no fuso. Considerando uma relação de transmissão das engrenagens ($U_{engrenagens}$) de 2:1 e um rendimento do fuso (η_{fuso}) e das engrenagens ($\eta_{engrenagens}$) de 90%, através da fórmula 3.3, é possível calcular o binário mínimo necessário à saída do motoredutor ($M_{motoredutor}$).

$$(M_{motoredutor} \times U_{engrenagens}) \cdot \eta_{fuso} \cdot \eta_{engrenagens} \geq M_{fuso} \quad (3.3)$$

Portanto,

$$M_{motoredutor} \geq 1,96 \text{ N.m} \quad (3.4)$$

Tendo estas condições em conta, o motor escolhido foi um Nema 11 com um comprimento de 31 mm e um redutor planetário de relação de transmissão de aproximadamente 100:1 (Figura 3.3) (Apêndice A).



Figura 3.3: Motorreductor. Motor de passo: Nema 11, redutor 100:1 [3].

As características gerais deste motor são as seguintes (Tabela 3.1):

Tabela 3.1: Características gerais do motoredutor [3].

Intensidade de corrente	0,67 A
Tensão	3,8 V
Ângulo por passo	0,067°
Binário do motor	0,07 N.m
Binário máximo	4 N.m
Rendimento	73%
Relação de transmissão do planetário	99 : 1

Segundo o fabricante este motor opera idealmente a 3.8 V e 670 mA garantindo um binário de 0,07 N.m, no entanto após ser testado constatou-se que o seu binário real é de 0,04 N.m. O teste foi realizado numa máquina de ensaios universal (*Shimadzo*) em que a velocidade do motor foi aproximadamente de 2,5 rpm. O redutor tendo uma relação de 1:100, vai aumentar o binário do motor para 4 N.m. Aplicando o rendimento do redutor, obtemos um binário à saída do motoredutor de 2,92 N.m. Como o binário do motorreductor (2,92 N.m) é superior ao necessário (1,96 N.m), calculado anteriormente, este motor é adequado para esta aplicação.

Conhecido o motoredutor a ser utilizado, está assim caracterizada a fonte cinemática do sistema. O dimensionamento dos restantes componentes vai depender diretamente das características deste motoredutor.

3.2 Engrenagens

As engrenagens têm o papel fundamental de fazer a transmissão e multiplicação de binário no sistema. Neste caso, o tipo de engrenagens escolhidas foram engrenagens do tipo dentado reto, pois são o tipo mais simples e económico e o projeto não exige a necessidade da utilização de tipos mais complexos. As engrenagens são definidas, essencialmente, pelo número de dentes (Z) e o seu módulo. A relação de transmissão vai depender do número de dentes das engrenagens ($u=Z_2/Z_1$), sendo que para o módulo igual, quanto maior o número de dentes, maior o diâmetro primitivo da engrenagem ($D = m_n \cdot Z$). Como o espaço disponível é bastante restrito, interessa estudar quais as dimensões ótimas para obter uma relação de transmissão mais elevada possível. É importante que a relação de transmissão seja, no mínimo, dois, pois os cálculos do binário do motor tiveram esse pressuposto. Considerou-se no estudo um módulo de dois e concluiu-se que a melhor configuração das engrenagens seria o pinhão com 15 dentes e a roda com 30 dentes, obtendo assim uma relação de transmissão igual a dois.

Na figura 3.4, pode-se verificar o resultado do estudo efetuado. Considerou-se o diâmetro primitivo para o desenho das engrenagens, sendo que, como o módulo considerado foi dois, e como $D = m_n \cdot Z$, o $D_{pinhão}$ é igual a 30 mm e o D_{roda} é igual a 60 mm. Conhecido o número de dentes e a relação de transmissão das engrenagens é necessário validar o valor do módulo.

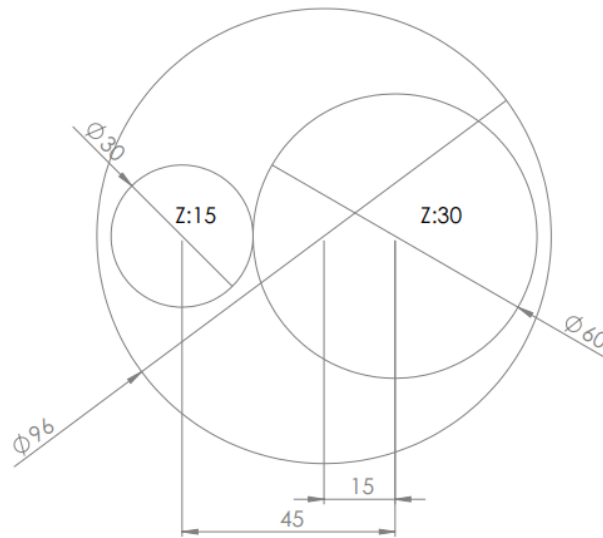


Figura 3.4: Estudo do tamanho das engrenagens para um $m_n = 2$.

O cálculo do módulo mínimo depende dos modos como a engrenagem é solicitada e

da potência a transmitir. A potência a ser transmitida é dada pela equação 3.5 [4].

$$P = w \times M_{motor} [W] \quad (3.5)$$

A velocidade de rotação do motor é proporcional à frequência de impulsos a que é submetido. Por se tratar de uma prensa para ensaios estáticos ou quase-estáticos, interessa que a velocidade seja baixa. A velocidade desejada na mesa de ensaio é de aproximadamente 5 mm/min , logo, como o fuso tem um passo de 4 mm e a relação de transmissão das engrenagens é de 1:2 o motor terá que rodar a $2,5 \text{ rpm}$ o que equivale a uma velocidade angular de $0,261 \text{ rad/s}$.

Conhecido o valor da velocidade angular do pinhão e o binário do motor é possível calcular a potência a ser transmitida pelas engrenagens.

$$P = w \times M_{motor} = 0,261 \times 2,92 = 0,762 [W] \quad (3.6)$$

Existem dois modos de como uma engrenagem pode ser solicitada em função da potência a transmitir, através da flexão do dente e através de tensões de Hertz. A flexão do dente deve-se ao momento fletor devido à força de engrenamento. A tensão de Hertz é devida ao contacto entre os flancos de dois dentes conjugados. Para um correto dimensionamento das engrenagens deve-se verificar ambos os critérios. Para a verificação à rotura por fadiga em flexão do dente, o módulo mínimo para uma dada potência é calculado através da fórmula 3.7. [4]

$$m_n \geq \sqrt[3]{\frac{1.96 \cdot 10^4 \cdot P \cdot K_M \cdot K_{bL}}{C_L \cdot \sigma_{blimite} \cdot n_1 \cdot K_A \cdot Z_1 \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_F}} \cdot \left(\frac{u \pm 1}{u} \right) \quad (3.7)$$

Em que,

- m_n - módulo real da engrenagem [mm].
- P - potência a transmitir pela engrenagem [W].
- $\sigma_{blimite}$ - tensão limite de fadiga à flexão (108 ciclos) [MPa]. Como as engrenagens são de aço C45 sem endurecimento superficial a $\sigma_{blimite}$ é aproximadamente 300 Mpa.
- u - razão de transmissão, igual a 2.
- C_L - fator largura (L)/módulo(m_n). Considerou-se um C_L de 8, sendo a largura da engrenagem de 16 mm.
- n_1 - rotação do pinhão, 2,5 rpm.
- Z_1 - número de dentes do pinhão.
- K_M - fator de efeito dinâmico. Depende do tipo de máquina motriz e de máquina acionada. Considerou-se que tanto a máquina motriz como a máquina acionada operam num regime médio (M), $K_M = 1.75$.
- K_A - fator de alinhamento. O fator de alinhamento depende da relação entre a largura da engrenagem e o diâmetro primitivo do pinhão (L/d). Para $L/d < 1$, $K_A = 1$, para $1 < L/d < 2$, $K_A = 0,95$. Neste caso como L/d é inferior a 1 (0,533), K_A vai ser 1.

- K_{bL} - fator de fadiga por flexão. Está relacionado com o número de ciclos de fadiga durante o período de vida da máquina. Normalmente está referenciado a 10^8 ciclos e a sua expressão é a seguinte (3.8).

$$K_{bL} = \frac{\log_{10}(N_{Lh})}{8} \quad (3.8)$$

em que N_{Lh} é o número de ciclos. Neste caso, o número de ciclos foi calculado através da fórmula 3.9 assumindo os seguintes pressupostos:

- Tempo de vida da prensa: 10 anos;
- Será realizado 1 ensaio por dia (220 dias/ano);
- Em cada ensaio são realizadas 40 rotações.

$$N_{numeroderotações} = 10 \times 220 \times 40 = 88000 \quad (3.9)$$

Calculando a fórmula 3.8 com o número de ciclos anteriormente calculado, obtém-se um K_{bL} igual a 0,62.

- Y_ε - fator de condução. $Y_\varepsilon = 1/\varepsilon$ onde ε é a razão de condução. Neste caso, assumiu-se um Y_ε igual a 0,8.
- Y_F - fator de concentração de tensões à flexão. $Y_F = 1/K_F$ onde K_F é o fator de concentração de tensões. Assumiu-se que K_F é igual a 0,4.

Calculando o módulo assumindo os valores anteriores, obtemos a expressão 3.10.

$$m_n \geq \sqrt[3]{\frac{1.96 \cdot 10^4 \cdot 2,25 \cdot 1,75 \cdot 0,62}{8 \cdot 300 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 15 \cdot 0,8 \cdot 0,4} \cdot \left(\frac{2+1}{2}\right)} \geq 0,56 \quad (3.10)$$

Para a verificação à rotura por fadiga devido às tensões de Hertz, o módulo mínimo para uma dada potência é calculado através da fórmula 3.11.

$$m_n \geq \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 10^4 \cdot P \cdot K_M}{\pi^2 \cdot C_L \cdot \sigma_{HLim}^2 \cdot n_1 \cdot K_A \cdot Z_1^2 \cdot K_{HL} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)} \cdot \frac{2 \cdot E}{(1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{u \pm 1}{u}\right)} \quad (3.11)$$

Em que,

- σ_{HLim} - tensão limite de fadiga de contacto [MPa]. Este valor tem a ver com o tipo de aço e o seu tratamento térmico. Como o aço das engrenagens é C45 normalizado, o valor de σ_{HLim} é aproximadamente 500 MPa.
- K_{HL} - fator de fadiga à tensão de contacto. Este valor é estimado pela seguinte expressão (3.12).

$$K_{HL} = \frac{8}{\log_{10}(N_{Lh})} \quad (3.12)$$

Como calculado anteriormente pela expressão 3.9, o valor de N_{Lh} é 88000. Resolvendo a equação 3.12 como o valor de rotação do ciclo de vida do sistema, obtemos $K_{HL} = 1,62$.

- α - ângulo de pressão [°]. O ângulo considerado foi 20°.
- ν - coeficiente de *Poisson*. O coeficiente do aço C45 é 0,29.
- E - módulo de elasticidade [MPa]. O módulo de elasticidade do aço C45 é 210000 MPa.

Os valores de P , K_M , C_L , n_1 , K_A , Z_1 e u são os mesmos assumidos na expressão 3.7.

Resolvendo a expressão 3.11 com os valores assumidos, obtemos:

$$m_n \geq \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 10^4 \cdot 2,25 \cdot 1,75}{\pi^2 \cdot 8 \cdot 500^2 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 15^2 \cdot 1,62 \cdot \sin(2 \cdot 20)}} \cdot \frac{2 \cdot 210000}{(1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{2 + 1}{2}\right) \geq 1,41 \quad (3.13)$$

Após verificados os dois modos em que a engrenagem vai ser sujeita, interessa analisar qual o valor do módulo a assumir, garantindo segurança e robustez do conjunto. No mercado nem sempre existem engrenagens com todos os módulos, tipicamente, para engrenagens com estas dimensões, os módulos mais inferiores são sempre de 1, 1,5, 2 e 3 mm. Pelos resultados dos cálculos do módulo mínimo necessário, pela expressão 3.13 obtivemos um m_n igual a 1,41 e pela expressão 3.10 obtivemos um m_n de 0,56. Interessa que o módulo seja superior aos dois valores calculados, logo, m_n tem que ser superior a 1,41. Avaliando a oferta do mercado o módulo escolhido foi de 2.

Estando definido o módulo ficam também definidos todos os parâmetros geométricos da engrenagem. Pela tabela 3.2 é possível verificar as características geométricas gerais das engrenagens.

Tabela 3.2: Características geométricas gerais das engrenagens

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Diâmetro primitivo pinhão	D_1	30	mm
Diâmetro primitivo roda	D_2	60	mm
Passo	p	6,28	mm
Módulo normal	m_n	2	-
Ângulo de pressão	α	20	$^\circ$
Número de dentes pinhão	Z_1	15	-
Número de dentes roda	Z_2	30	-
Largura	L	16	mm
Diâmetro de base pinhão	D_{b1}	28,19	mm
Diâmetro do pé de dente pinhão	D_{p1}	25	mm
Diâmetro externo (cabeça) pinhão	D_{e1}	34	mm
Diâmetro de base roda	D_{b2}	56,38	mm
Diâmetro do pé de dente roda	D_{p2}	55	mm
Diâmetro externo (cabeça) roda	D_{e2}	64	mm
Altura total do dente	h_z	4,5	mm
Altura da cabeça do dente	h_c	2	mm
Altura do pé do dente	h_f	2,5	mm
Folga da cabeça	s	0,5	mm
Razão de transmissão	u	2	-
Entre eixo	e	45	mm

Devido ao contacto entre engrenagens, são geradas forças entre elas. A força tangen-

cial (F_t) atua tangencialmente ao círculo primitivo, tanto no pinhão como na roda, mas em sentidos opostos. A força de engrenamento (F_N) resulta do contacto entre os flancos dos dentes do pinhão e da roda, tal como a força radial (F_r) [4]. As expressões para o cálculo destas força e do momento torsor no pinhão são:

$$M_t = \frac{P}{w} \quad (3.14)$$

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{M_{t1}}{R_1} = \frac{2 \cdot M_{t1}}{m_n \cdot Z_1} \quad (3.15)$$

$$F_{N1} = F_{N2} = \frac{F_{t1}}{\cos(\alpha)} \quad (3.16)$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t1} \cdot \tan(\alpha) \quad (3.17)$$

Resolvendo as equações com os valores do projeto obtemos,

$$M_{t1} = \frac{0,762}{0,261} = 2,92 \quad N.m \quad (3.18)$$

$$M_{t1} = \frac{0,762}{0,131} = 5,84 \quad N.m \quad (3.19)$$

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{2 \cdot 1,79}{2 \cdot 15} = 326,18 \quad N \quad (3.20)$$

$$F_{N1} = F_{N2} = \frac{119,4}{\cos(20)} = 347,12 \quad N \quad (3.21)$$

$$F_{r1} = F_{r2} = 119,4 \cdot \tan(20) = 118,72 \quad N \quad (3.22)$$

Estes valores vão ser essenciais para o cálculo dos veios e dos casquilhos.

Como cálculo das forças envolvidas e conhecendo as suas características geométricas gerais, estão assim definidas as engrenagens.

3.3 Veios e casquilhos

Calculadas as engrenagens que vão transmitir a potência do motor para o fuso trapezoidal é fundamental calcular os veios e os casquilhos onde estas vão estar suportadas. Os veios são elementos mecânicos, normalmente de secção circular, que servem para a montagem de elementos rotativos transmissores de potência. Para o seu dimensionamento e validação é necessário ser calculado à cedência e à fadiga [4]. Os casquilhos são elementos que facilitam a rotação entre duas peças. Podem ser metálicos, de plástico ou de um material compósito reforçados com fibras que reduzem o ruído e as vibrações. Neste projeto usou-se casquilhos metálicos pois estes têm uma maior capacidade de carga.

Existem dois veios que têm que ser dimensionados. Ambos os veios contêm uma engrenagem de dentado recto e dois casquilhos para o suporte, um inferior e um superior (figura 3.5).

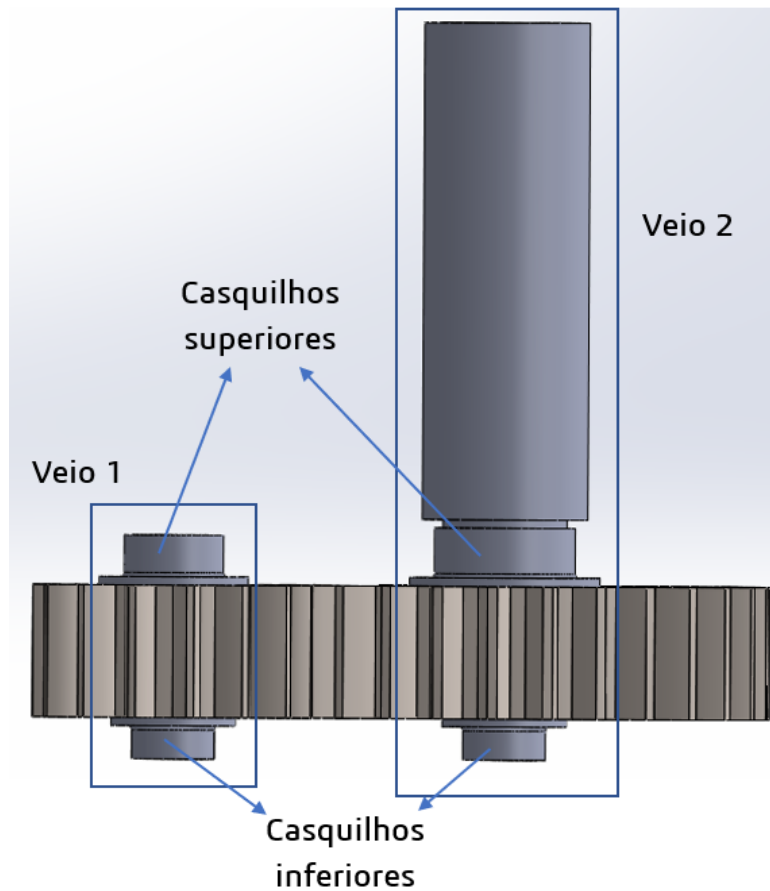


Figura 3.5: Representação dos veios e casquilhos do sistema.

Os veios vão estar sujeitos a forças e momentos devido ao engrenamento das engrenagens. Essas forças (F_t , F_r) foram calculadas anteriormente no dimensionamento das engrenagens, em que:

- $F_r = 118,72 \text{ N}$,
- $F_t = 326,19 \text{ N}$.

Na figura 3.6 é possível verificar a direção e sentido das forças a atuar nos veios. De notar que $F_{r1} = F_{r2}$ e que $F_{t1} = F_{t2}$.

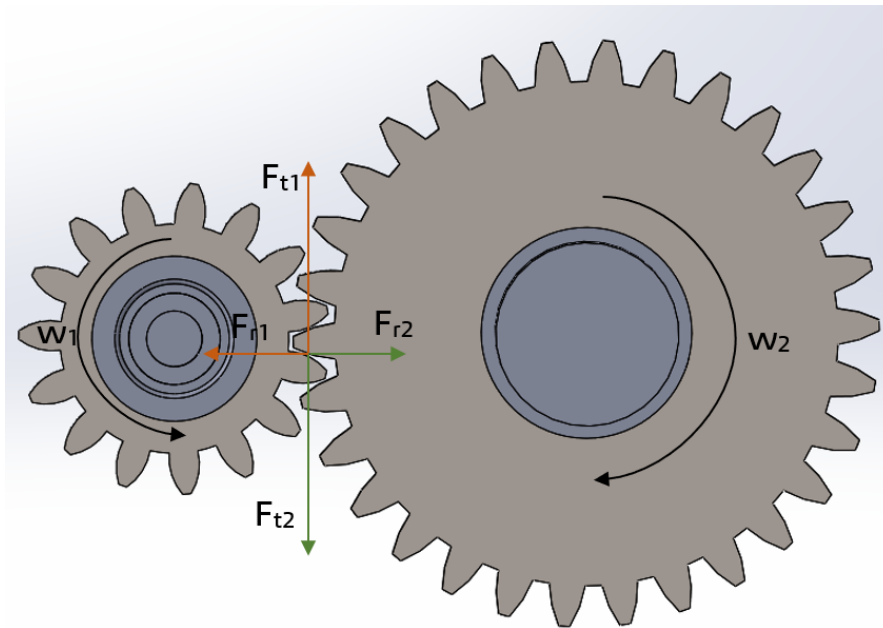


Figura 3.6: Representação das forças de engrenamento nos veios.

Por ser um processo iterativo, para início de cálculo considerou-se que a posição dos apoios e a sua distância eram as referidas na figura 3.7.

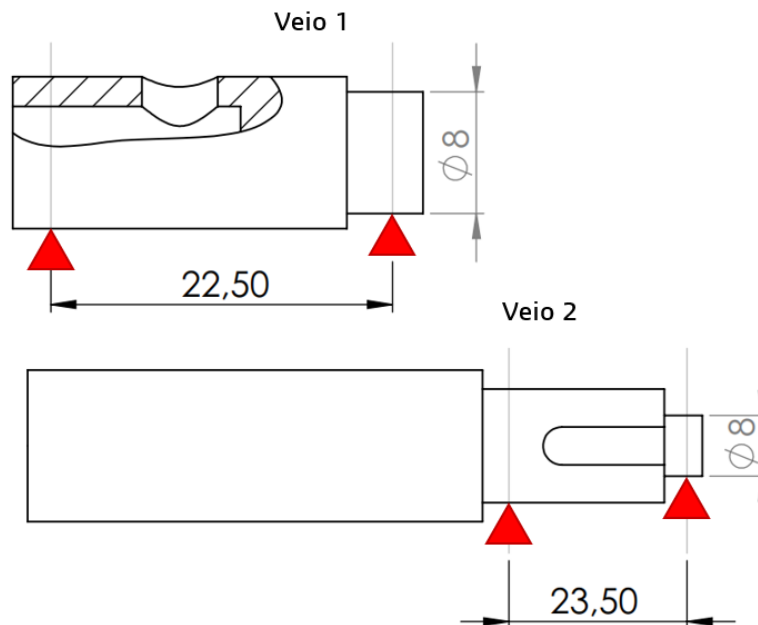


Figura 3.7: Posição dos apoios nos veios.

Conhecendo as forças a que os veios estão sujeitos, as características geométricas e as posições dos casquilhos, é possível calcular os esforços que os casquilhos têm que

suportar quando a máquina estiver em funcionamento. Para a facilitação do processo, recorreu-se ao *software Ftool*, para simular as forças a atuar nos veios e assim obter os resultados pretendidos.

Por uma questão de segurança no veio 1, como tem uma secção irregular, assumiu-se na simulação, um tubo de diâmetro de 8 mm no exterior e de diâmetro de 6 mm no interior, uma vez que esta é a pior situação possível. Efetuaram-se duas simulações, uma para cada força a atuar no veios (F_t , F_r), e obtiveram-se as reações correspondentes. Na figura 3.8 encontra-se o gráfico com o valor das reações nos apoios quando o veio é sujeito à força radial ($F_r = 118,72\text{ N}$).

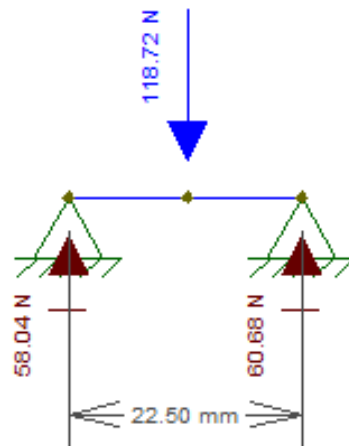


Figura 3.8: Representação do calculo das reações quando a barra está sujeita a força radial (F_r).

Da análise efetuada obtiveram-se os seguintes valores para as reações nos apoios:

- $R_{esquerda} = 58,04\text{ N}$,
- $R_{direita} = 60,68\text{ N}$.

Quando o veio é solicitado pela força tangencial ($F_t = 326,19\text{ N}$) o resultado encontra-se na figura 3.9.

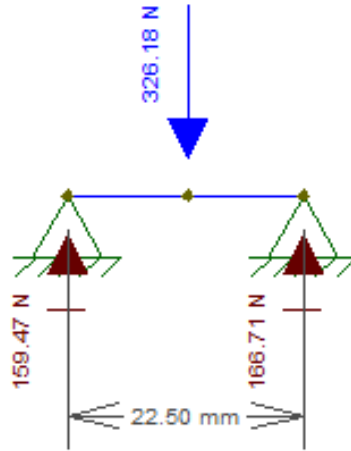


Figura 3.9: Representação do cálculo das reações quando a barra está sujeita a força tangencial (F_t).

Os valores das reações quando o veio é sujeito à força tangencial são:

- $R_{esquerda} = 159,47 \text{ N}$,
- $R_{direita} = 166,71 \text{ N}$.

Obtendo os valores das reações para as duas solicitações do veio, interessa calcular as reação equivalente para cada apoio. Para isso utilizou-se a fórmula 3.23.

$$R_{eq} = \sqrt{R_1^2 + R_2^2} \quad (3.23)$$

Em que, para o apoio da esquerda:

$$R_{eq,esquerda} = \sqrt{58,04^2 + 159,47^2} = 169,70 \text{ N} \quad (3.24)$$

E para o apoio da direita:

$$R_{eq,direita} = \sqrt{60,68^2 + 166,71^2} = 177,41 \text{ N} \quad (3.25)$$

Com os cálculos anteriormente efetuados, é possível saber as forças que os casquilhos têm que suportar no veio 1. Interessa aplicar a mesma metodologia ao veio 2 com vista ao dimensionamento dos casquilhos que o suportam.

Para o calculo do veio 2, considerou-se uma barra com 8 mm de diâmetro. O esquema de trabalho de quando o veio 2 está sujeito à força radial (F_r) está representado na figura 3.10.

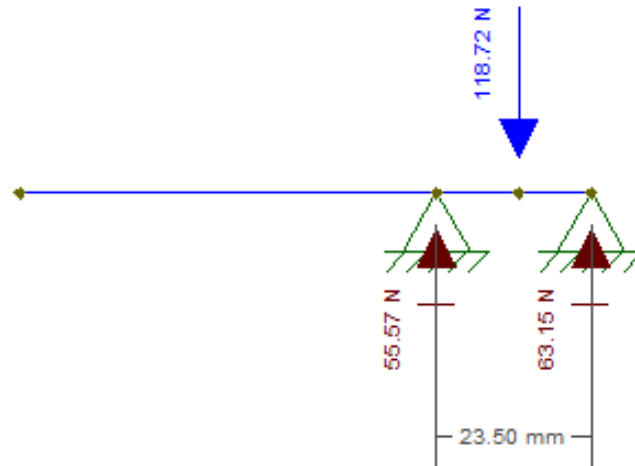


Figura 3.10: Representação do cálculo das reações quando a barra está sujeita a força radial (F_r).

As reações nos apoios obtidas são as seguintes:

- $R_{esquerda} = 55,57 \text{ N}$,
- $R_{direita} = 63,15 \text{ N}$.

O resultado de quando o veio 2 está sujeito à força tangencial (F_t) é representado na figura 3.11.

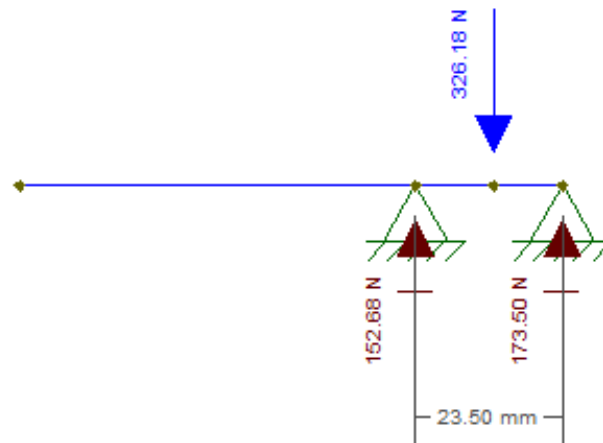


Figura 3.11: Simulação numérica para o cálculo das reações quando a barra está sujeita a força radial (F_r).

As reações nos apoios obtidas são as seguintes:

- $R_{esquerda} = 152,68 \text{ N}$,
- $R_{direita} = 173,50 \text{ N}$.

O cálculo da reação equivalente em cada apoio foi efetuado recorrendo à fórmula 3.23. Em que se obteve os seguintes resultados:

Para o apoio da esquerda:

$$R_{eq, esquerda} = \sqrt{55,57^2 + 152,68^2} = 162,48N \quad (3.26)$$

E para o apoio da direita:

$$R_{eq, direita} = \sqrt{63,15^2 + 173,50^2} = 184,64N \quad (3.27)$$

Cálculadas assim todas as forças que os apoios têm que suportar, é possível calcular e escolher a melhor solução de casquilhos para o sistema.

Recorreu-se a um catálogo de casquilhos metálicos, e de acordo com o diâmetro do veio onde vai estar inserido, escolheu-se o mais adequado.

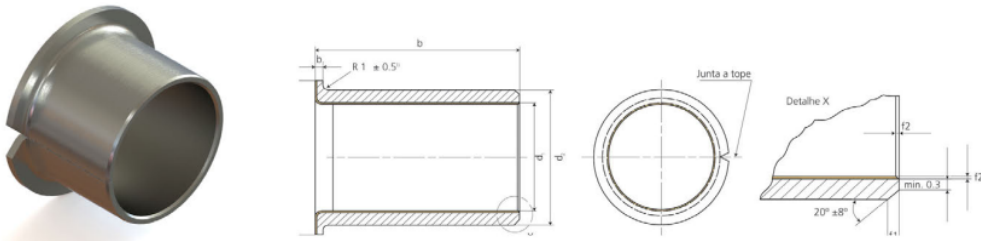


Figura 3.12: Casquilho PAF-P11 da PolyLanema e sua geometria.

Neste projecto, devido aos diferentes diâmetros dos veios vão ser utilizados casquilhos com dimensões diferentes, mas cujo o método de verificação mecânica seja igual. De notar que o caquilho inferior do veio 2, por ser o veio que transmite a força de compressão para a amostra, além da reação equivalente vai estar também sujeito a uma força axial de compressão. Na figura 3.13 é possível observar as forças a que os casquilhos vão estar submetidos.

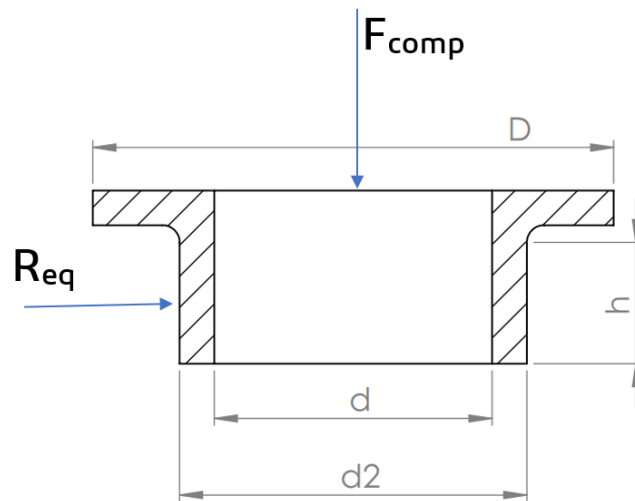


Figura 3.13: Representação das forças que atuam nos casquilhos.

Os casquilhos metálicos escolhidos têm a capacidade de aguentar cargas até 70 MPa (tensão limite elástico), logo, este vai ser o valor de referência da verificação dos casquilhos. Para verificar se o casquilho suporta as cargas a que está sujeito recorreu-se à seguinte fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad MPa \quad (3.28)$$

Em que:

- σ - Tensão, cujo o valor não pode exceder a tensão limite elástico do casquilho, 70 MPa.
- F - Força que atua numa determinada área. No caso dos casquilhos, no veio 1 as forças a que os mesmos estão sujeitos são as reações equivalentes calculadas anteriormente. No veio 2, como é o veio que está a transmitir a carga para a compressão da amostra, além das reações equivalentes, o casquilho inferior vai estar também sujeitos a uma força axial de compressão (F_{comp}) que no máximo será 5000 N.
- A - Área onde atua uma determinada força. No caso das reações equivalentes, a área (figura 3.14) é calculada assumindo que apenas 1/6 da área circular do casquilho é que vai absorver essa força.

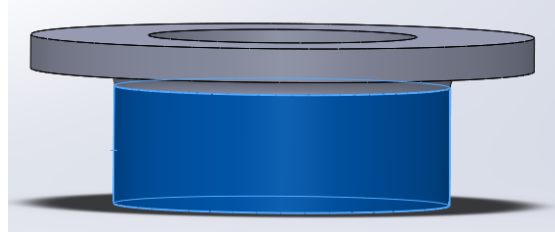


Figura 3.14: Representação da área circular total do casquilho.

Assumindo este pressuposto, para a determinação da área recorreu-se ao seguinte cálculo.

$$A = \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{d}{2}\right) \times \frac{1}{6} \times h \quad mm^2 \quad (3.29)$$

No caso do casquilho inferior do veio 2, como vai estar sujeito a uma força de compressão axial, a área de esmagamento (figura 3.15) resultante dessa força é calculada da seguinte forma:

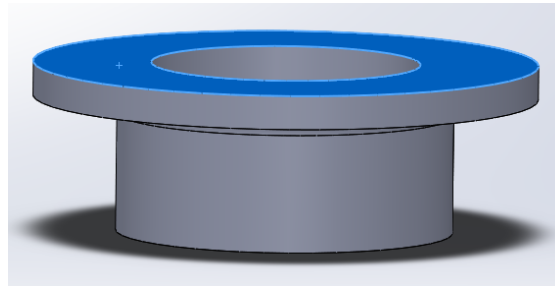


Figura 3.15: Representação da área de esmagamento do casquilho.

$$A = \left(\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2\right) - \left(\pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2\right) \quad mm^2 \quad (3.30)$$

Calculando as áreas e as tensões aplicadas é possível validar a escolha dos casquilhos. Na tabela 3.3, é possível verificar os resultados da validação dos casquilhos quando sujeitos a forças resultantes do engrenamento das engrenagem (R_{eq}). Foi considerado um coeficiente de segurança (fs) de 1,25.

Tabela 3.3: Validação dos casquilhos quando sujeitos a força de reação equivalente.

Casquilho	$F = R_{eq}$	d	h	A	fs	σ	Validação
Veio 1 - superior	169,70	10	5	26,2	1,25	8,096	8,096 < 70
Veio 1 - inferior	177,41	8	4	16,76	1,25	13,23	13,23 < 70
Veio 2 - superior	162,48	15	6	47,12	1,25	4,31	4,31 < 70
Veio 2 - inferior	148,64	8	4	16,76	1,25	11,09	11,09 < 70

No caso do casquilho inferior do veio 2 é necessário verificar a tensão criada pela força que atua axialmente ao casquilho. Na tabela 3.4 é possível verificar a validação consequente da atuação da força de compressão axial ($F=5000$ N).

Tabela 3.4: Validação dos casquilhos quando sujeitos a força de reação equivalente.

Casquilho	$F = F_{comp}$	D	d_2	A	fs	σ	Validação
Veio 2 - inferior	5000	15	10	98,17	1,25	63,66	63,66 < 70

Estão assim validados os casquilhos que vão suportar os veios.

Como referido anteriormente os veios têm também que ser validados, e para isso verificados à cedência, rigidez. Não é necessário a verificação à fadiga pois, os veios não vão estar sujeitos a elevadas rotações (apenas 5 rpm no máximo).

3.3.1 Cálculo à Cedência

Para a verificação à cedência é necessário determinar os esforços mais problemáticos no veio, neste caso são os momentos fletores (M_b) e os momentos torsores (M_t). Os

momentos fletores, são gerados pelas forças transversais ao veio, neste caso, devido às forças de engrenamento, ou seja devido à força radial (F_r) e tangencial (F_t) das engrenagens. O momento torsor é gerado pela atuação no motor no veio, e o seu cálculo encontra-se anteriormente efetuado no dimensionamento das engrenagens ($Mt_1 = 2,92 Nm$, $Mt_2 = 5,84 Nm$). O cálculo dos momentos fletores foi realizado recorrendo ao *software Ftool*. Obtidos os valores dos momentos fletores gerados pelas forças transversais, interessa determinar o momento fletor equivalente a que o veio está sujeito, em que [4]:

$$Mb_{eq} = \sqrt{Mb_1^2 + Mb_2^2} \quad (3.31)$$

Conhecendo a geometria do veio, o momento fletor equivalente e o momento torsor torna-se possível fazer o cálculo à cedência do veio. Para o cálculo à cedência recorreu-se ao critério de *Tresca* (equação 3.32) [4].

$$\frac{\sigma_Y}{2 \cdot \gamma} \geq \sqrt{\left(\frac{16 \cdot M_b}{\pi \cdot D^3}\right)^2 + \left(\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot D^3}\right)^2} \quad (3.32)$$

Em que:

- σ_Y - Tensão de cedência do material do veio, neste caso como o material é o Ck45, $\sigma_Y = 300$.
- γ - Fator de segurança, $\gamma = 1,5$.
- M_b - Momento fletor equivalente.
- M_t - Momento torsor.
- D - Diâmetro mínimo do veio.

Realizando esta metodologia para cada veio, obtemos os seguintes resultados:

- Veio 1:

Momento fletor quando sujeito à força radial (figura 3.16).

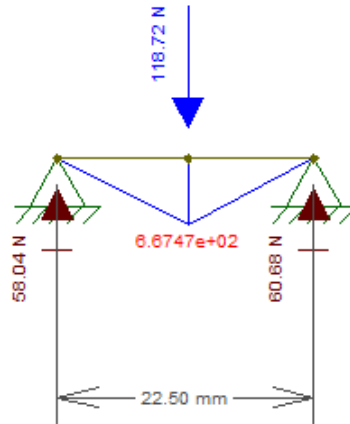


Figura 3.16: Gráfico do momento fletor originado pela força radial no veio 1.

$$Mb_{Fr} = 667,5 \text{ Nmm}.$$

Momento fletor quando sujeito à força tangencial (figura 3.17).

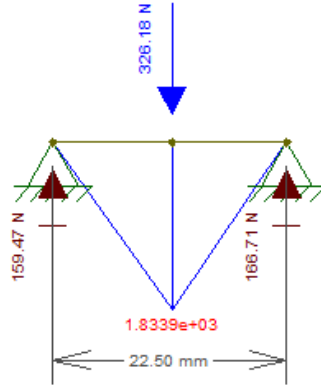


Figura 3.17: Gráfico do momento fletor originado pela força tangencial no veio 1.

$$Mb_{Ft} = 1833,9 \text{ Nmm}.$$

Momento fletor equivalente:

$$Mb_{eq} = \sqrt{667,5^2 + 1833,8^2} = 1951,59 \text{ Nmm} \quad (3.33)$$

Aplicando o critério de *Tresca*, em que o diâmetro mínimo é 8 mm.

$$\frac{300}{2 \cdot 1,5} \geq \sqrt{\left(\frac{16 \cdot 1951,59}{\pi \cdot 8^3}\right)^2 + \left(\frac{16 \cdot 2920}{\pi \cdot 8^3}\right)^2} \quad (3.34)$$

$$100 \geq 34,9 \quad (3.35)$$

Através da aplicação do critério de *Tresca* podemos concluir que o veio 1 está validado à cedência.

- Veio 2:

Momento fletor quando sujeito à força radial (figura 3.18).

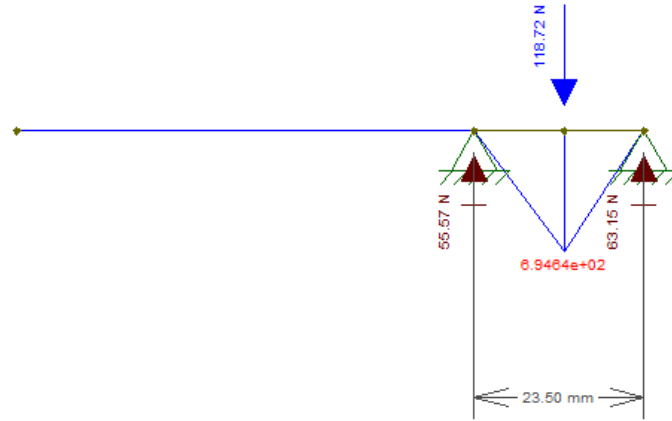


Figura 3.18: Gráfico do momento fletor originado pela força radial no veio 2.

$$Mb_{Fr} = 694,8 \text{ Nmm}.$$

Momento fletor quando sujeito à força tangencial (figura 3.19).

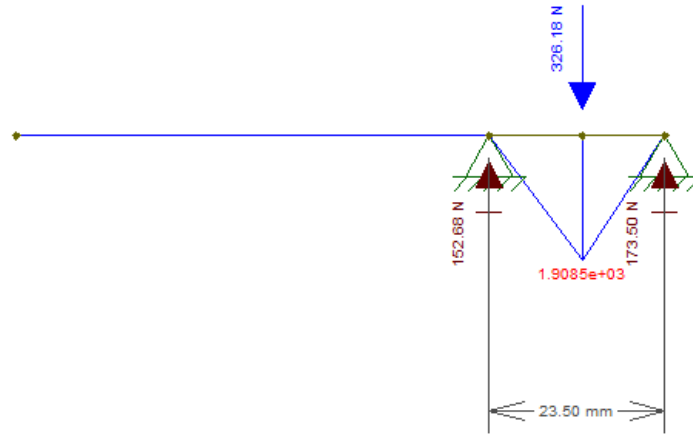


Figura 3.19: Gráfico do momento fletor originado pela força tangencial no veio 2.

$$Mb_{Ft} = 1908,5 \text{ Nmm}.$$

Momento fletor equivalente:

$$Mb_{eq} = \sqrt{694,8^2 + 1908,5^2} = 2031 \text{ Nmm} \quad (3.36)$$

Aplicando o critério de *Tresca*, em que o diâmetro mínimo é 8 mm.

$$\frac{300}{2 \cdot 1,5} \geq \sqrt{\left(\frac{16 \cdot 2031}{\pi \cdot 8^3}\right)^2 + \left(\frac{16 \cdot 5840}{\pi \cdot 8^3}\right)^2} \quad (3.37)$$

$$100 \geq 61,5 \quad (3.38)$$

Através da aplicação do critério de *Tresca* podemos concluir que o veio 2 está validado à cedência.

3.3.2 Cálculo à Rigidez

Após o cálculo a cedência, é necessário calcular os veios também quanto à rigidez. Por vezes, os veios podem estar validados quanto ao limite de cedência, nas secções de solicitação mais severa, mas serem demasiado flexíveis e apresentar flechas elevadas nos pontos de engrenamento e rotações excessivas nos apoios. A validação à rigidez dos veios implica que as flechas não podem ser superiores a $0,01 \times m_{engrenagens}$ ($m = 2$) e as rotações nos apoios não podem ser superiores a 3 mrad. Como a única força no plano de engrenamento é a força radial (F_t), segundo a *AGMA* (*American Gear Manufacturers Association*) [4], apenas é necessário verificar a flecha e as rotações para a mesma [4].

Validando para o veio 1:

Flecha no ponto de engrenamento:

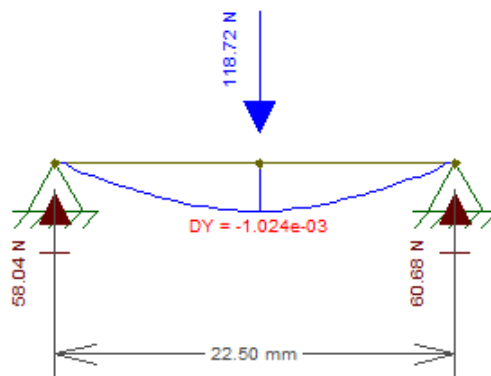


Figura 3.20: Gráfico da flecha no ponto de engrenamento no veio 1.

Como é possível observar pela figura 3.20 a flecha no ponto de engrenamento é de aproximadamente de 0,001 mm, inferior a 0,02.

Rotação nos apoios:

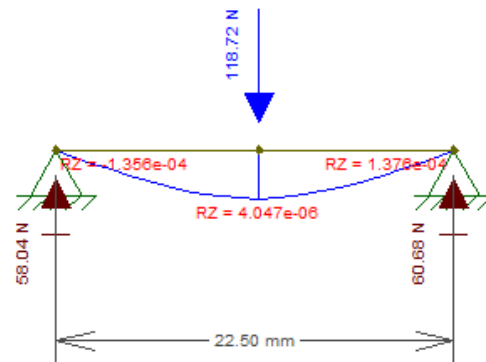


Figura 3.21: Gráfico das rotações nos apoios no veio 1.

Como é possível observar pela figura 3.21 a rotação nos apoios é inferior a 3 mrad , sendo a rotação do apoios da direita $1,38 \times 10^{-4}$ e no da esquerda de $1,36 \times 10^{-4}$

Validando para o veio 2:

Flecha no ponto de engrenamento:

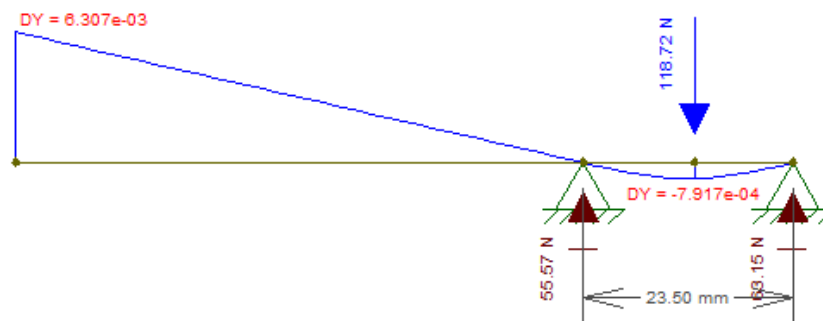


Figura 3.22: Gráfico da flecha no ponto de engrenamento no veio 2.

Como é possível observar pela figura 3.22 a flecha no ponto de engrenamento é de aproximadamente de $0,0079 \text{ mm}$, inferior a $0,02$.

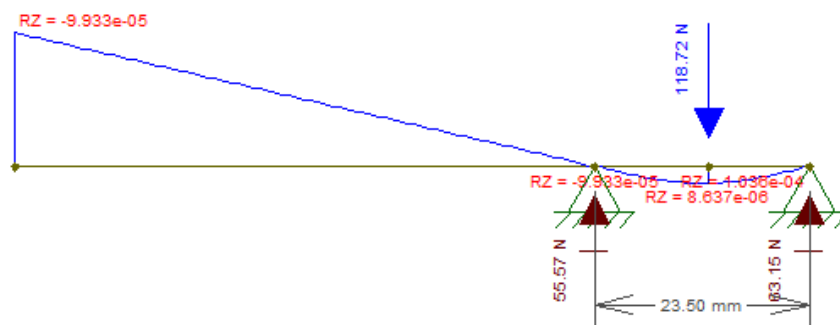


Figura 3.23: Gráfico das rotações nos apoios no veio 2.

Como é possível observar pela figura 3.23 a rotação nos apoios é inferior a 3 mrad , sendo a rotação do apoios da direita $1,04 \times 10^{-4}$ e no da esquerda de 1×10^{-4}

Validados os veios à rigidez, fica assim concluída o dimensionamento dos veios do sistema.

3.4 Célula de carga

Uma célula de carga é um aparelho de medição indireta de força. No projeto é usada uma célula de carga para medir a força que está a atuar na amostra. Existem vários tipos de células consoante a sua aplicação, neste caso foi usada uma célula de carga tipo "disco".

O princípio de funcionamento de uma célula de carga assenta numa ponte de *wheatstone*. Uma ponte de *wheatstone* (Figura 3.24) é num círculo elétrico com quatro resistências em que o valor de uma delas é desconhecido e que através desta montagem é possível ser determinado.

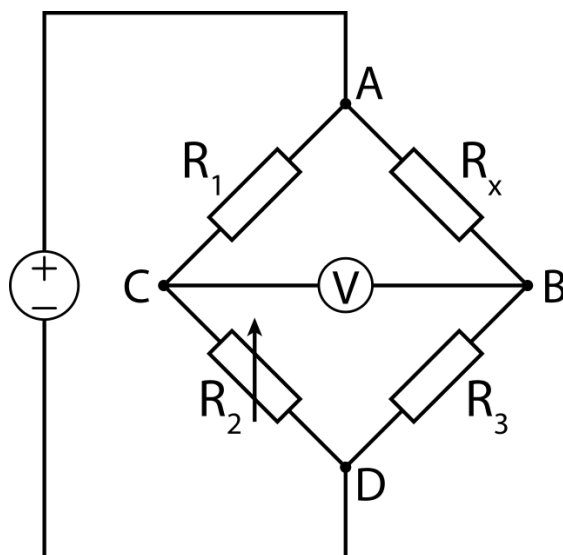


Figura 3.24: Ponte de *Wheatstone*.

No funcionamento das células de cargas o circuito usado é o mesmo, sendo que no lugar das resistências estão extensómetros (Figura 3.25) e que, com a sua deformação, a sua resistência varia.

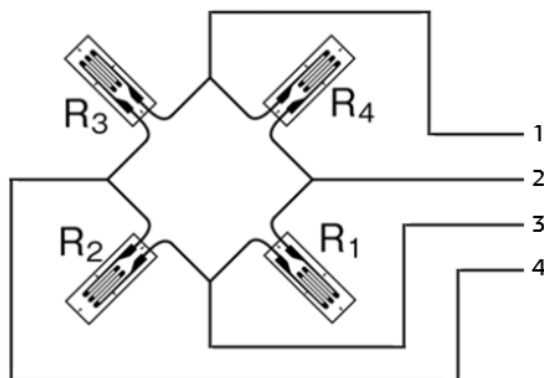


Figura 3.25: Ponte de *Wheatstone* com extensómetros.

Este circuito, ao ser alimentado nos pontos 1 (5 V) e 3 (0V), a diferença de potencial medida nos pontos 2 e 4 varia com a deformação dos extensómetros, logo, quando a célula de carga está sujeita a forças de compressão/tração, através da diferença de potencial, é possível criar um relação que permite determinar as mesmas.

Devido ao elevado custo e, principalmente à necessidade de uma célula de carga com dimensões reduzidas, optou-se pelo fabrico de uma de raiz. Inicialmente, dimensionou-se a estrutura em disco da célula (Figura 3.26) onde vão estar os extensómetros colados.

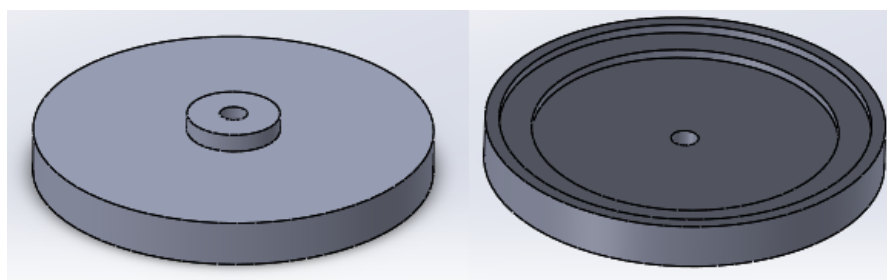


Figura 3.26: Imagem CAD do disco da célula de carga.

A célula foi dimensionada para o aço EN C45E.

Após o fabrico do disco, para garantir e validar a robustez da célula, o mesmo foi submetido a um ensaio de compressão (figura 3.27).

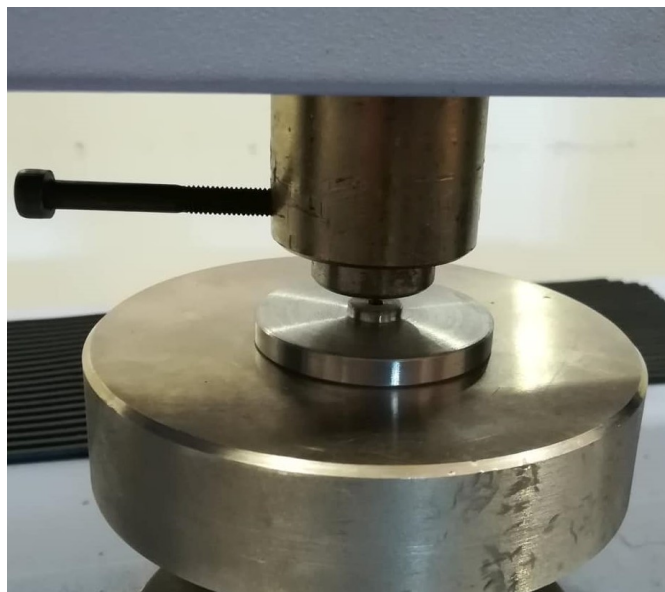


Figura 3.27: Célula do banco de ensaio.

No ensaio o disco foi submetido à compressão até uma força de 5200 N. No decorrer do ensaio, os valores da carga exercida e do deslocamento do disco eram armazenados. O resultado do ensaio é visível no gráfico da figura 3.28.

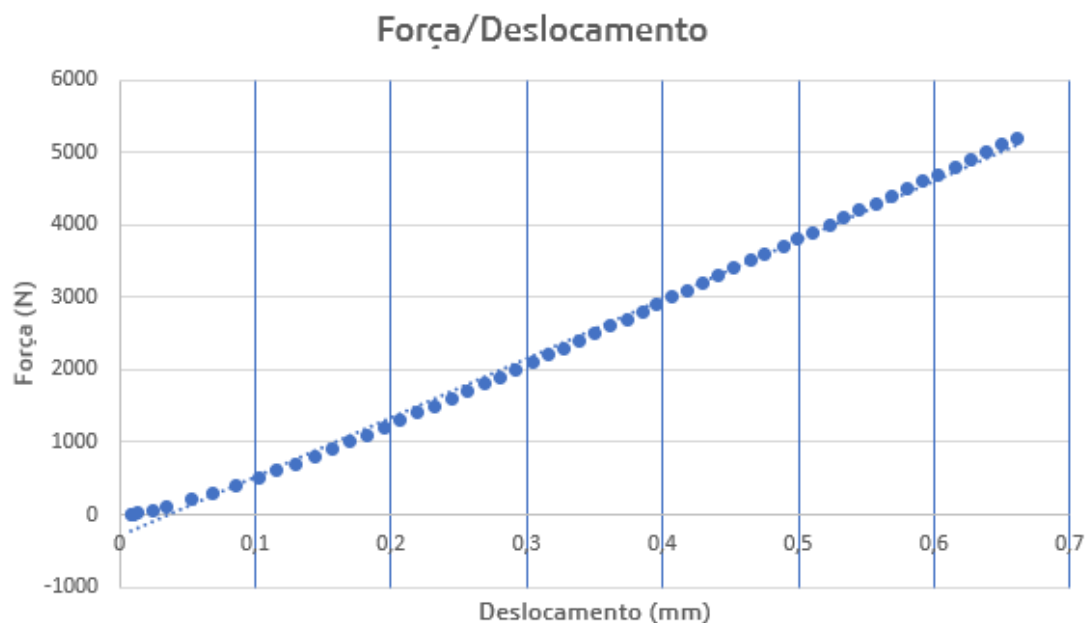


Figura 3.28: Gráfico Força/Deslocamento resultante do ensaio de compressão.

Como é possível observar pelo gráfico, o disco não entra em regime plástico, como pretendido, pois o declive da curva é constante. Com a realização deste ensaio fica

validado que o material não irá ceder nas suas condições de operação.

A colagem dos extensómetros foi realizada após uma limpeza da célula com uma lixa pouco abrasiva. A disposição dos extensómetros é muito importante para garantir uma boa leitura nos terminais. É necessário garantir que quando a célula se deformar os extensómetros não se deformem todos de igual modo, pois, nesse caso, a diferença de potencial nos terminais seria sempre zero. No caso das células circulares, como a deformação é igual radialmente, dois extensómetros têm que estar na direção do centro e os outros dois paralelos aos anteriores como demonstrado na figura 3.29.

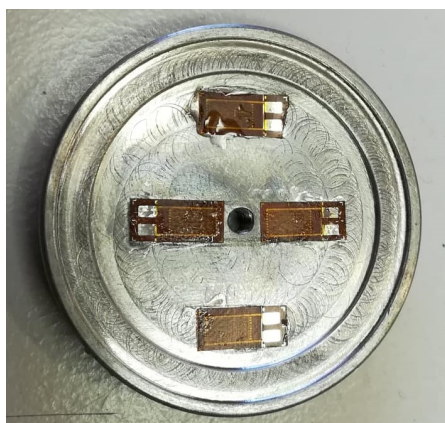


Figura 3.29: Disposição dos extensómetros colados.

Após a correta colagem dos extensómetros procedeu-se à ligação dos mesmos (Figura 3.30).

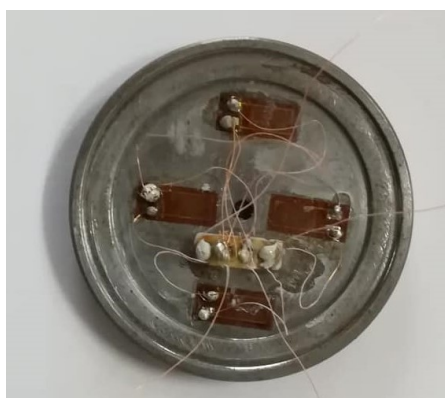


Figura 3.30: Ligações dos extensómetros.

Para o teste do funcionamento da célula de carga, recorreu-se novamente à máquina universal se ensaios (Figura 3.31).

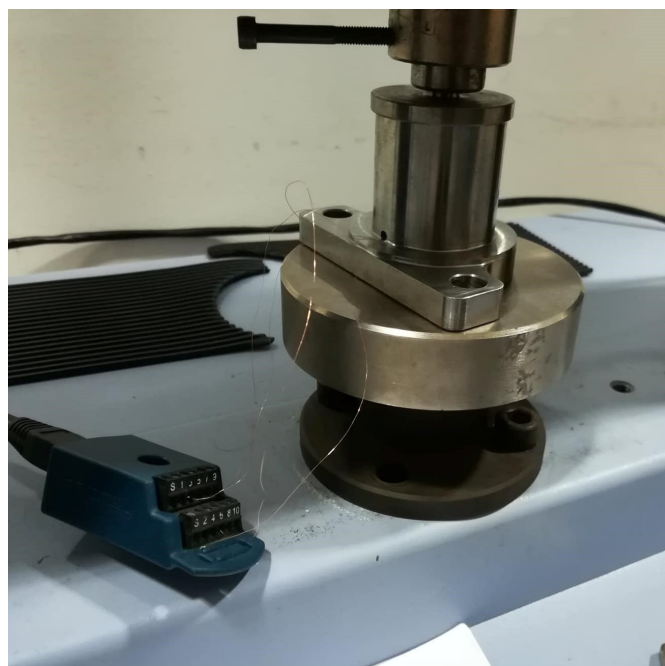


Figura 3.31: Teste da célula de carga.

Como as deformações da célula são muito pequenas a diferença de potencial nos terminais está na casa dos milivolts e por esse motivo é necessário amplificar o sinal. Ligaram-se os terminais da célula a um amplificador *National Instruments* (NIcDAQ-9178) com uma carta NI9237 e software desenvolvido em trabalho anterior [13]. Depois submeteu-se uma força crescente na célula e verificou-se que a diferença de potencial variava com a força (Figura 3.32).

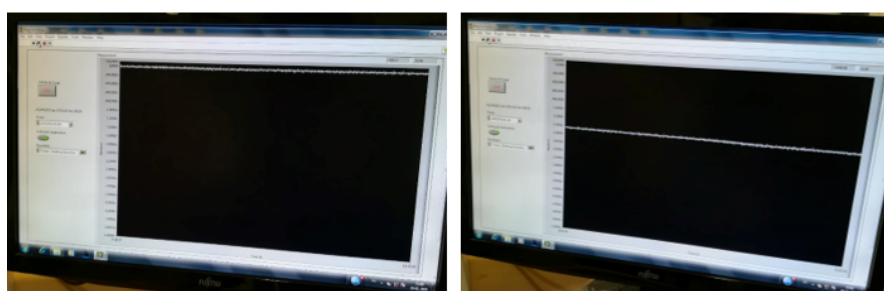


Figura 3.32: Comparação de gráficos da leitura da célula de carga.

Validado assim a célula de carga, interessa revestir e proteger o circuito o melhor possível. Para isso usou-se um revestimento de silicone que devido a sua elasticidade não irá por em causa o funcionamento da célula.

3.5 Compartimento da amostra

O compartimento da amostra é o espaço útil da prensa que é digitalizado. É nele que vai estar inserida a amostra a comprimir. O facto de ser o espaço que é digitalizado implica

que entre o raio-X e a amostra não devam existir peças opacas. Tendo em conta este facto, o material escolhido para o compartimento foi o polímero policarbonato (PC), pois, apresenta uma boa resistência mecânica (tensão limite elástico 74 *Mpa*) e é um polímero translúcido. É importante também que a acessibilidade à amostra seja simples e rápida, por isso, no topo do compartimento existe uma ranhura onde é inserido um pequeno paralelepípedo em aço que servirá de "porta"(3.33). De notar que no contato entre o paralelepípedo de aço e o compartimento, os cantos são arredondados para possibilitar uma maquinagem mais simples.

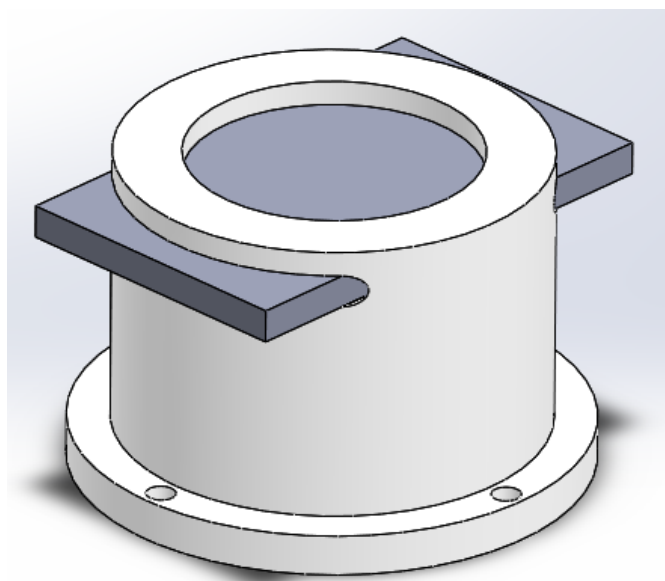


Figura 3.33: Geometria final do compartimento da amostra.

Como alternativa a esta solução foi considerado a utilização de uma tampa com parafusos mas, além de tornar lento o acesso à amostra, não é recomendada a utilização de roscas em peças plásticas (Figura 3.34).

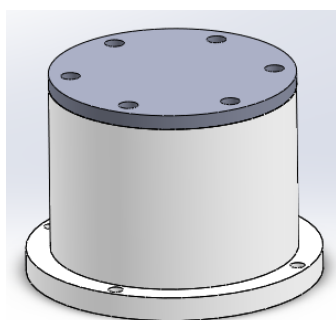


Figura 3.34: Compartimento com tampa de parafusos.

Considerou-se também a criação de um encaixe no topo entre o compartimento e uma peça em aço, mas pela sua complexidade de maquinagem foi posta de parte (3.35).

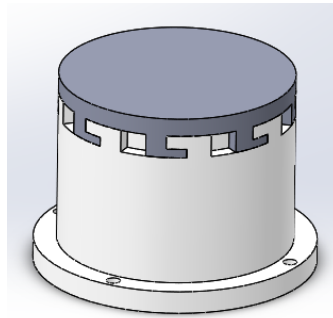


Figura 3.35: Compartimento com tampa de encaixe.

Para a validação da solução final encontrada recorreu-se ao cálculo das tensões de corte e esmagamento a que o conjunto está sujeito recorrendo à equação 3.39.

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ MPa} \quad (3.39)$$

Em que:

- σ - Tensão, cujo o valor não pode exceder a tensão limite elástico do polímero, 74 *MPa*.
- F - Força que atua numa determinada área. No caso do compartimento, a atuação da força vai criar tensões de corte e de tração. A força considerada foi 5000 *N*.
- A - Área onde atua uma determinada força. No caso das tensões de corte, a área a considerar é a representada na figura 3.36.

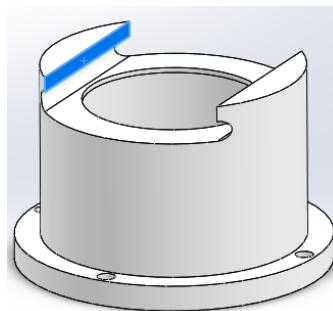


Figura 3.36: Representação da área sujeita ao corte.

No caso das tensões de tração, a área a considerar é a representada na figura 3.37.

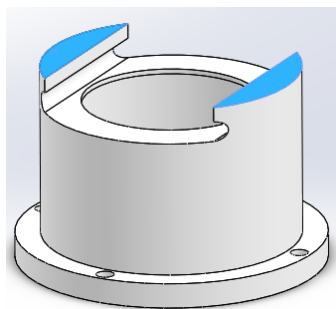


Figura 3.37: Representação da área sujeita ao esmagamento.

Para uma maior precisão, as áreas foram determinadas recorrendo ao ficheiro CAD.

Tabela 3.5: Validação do compartimento da amostra.

	F	A	f_s	σ	Validação
Tensão de Corte	5000	210,6	1,25	29,7	29,7 < 74
Tensão de Tração	5000	337,8	1,25	18,5	18,5 < 74

Para validar a actuação do conjunto "compartimento + placa em aço", recorreu-se a ferramentas de simulação computacional. O software usado foi o *SolidWorks Simulator*. Considerou-se um contacto sem penetração entre as peças e um apoio fixo na base do compartimento como representado na figura 3.38.

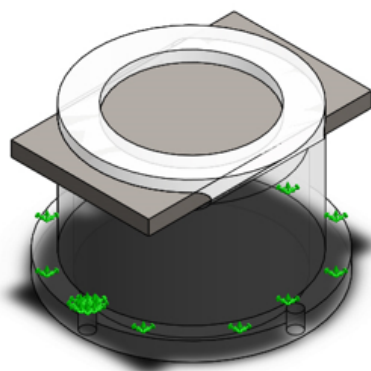


Figura 3.38: Representação dos apoios.

A malha considerada na simulação vai influenciar a sua exatidão, quanto mais refinada mais exato será o resultado final, mas só até certo ponto. A malha escolhida foi uma malha triangular, representada na figura 3.39.

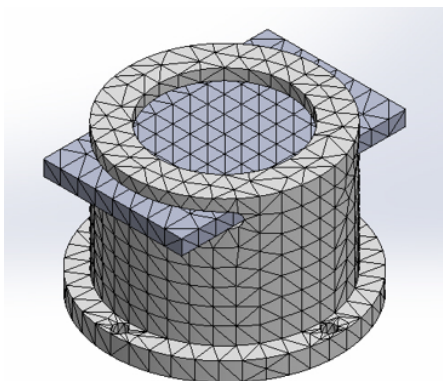


Figura 3.39: Representação da malha considerada na simulação.

O resultado da simulação é possível ser verificado pelo gráficos de *Von Mises* representado na figura 3.40.

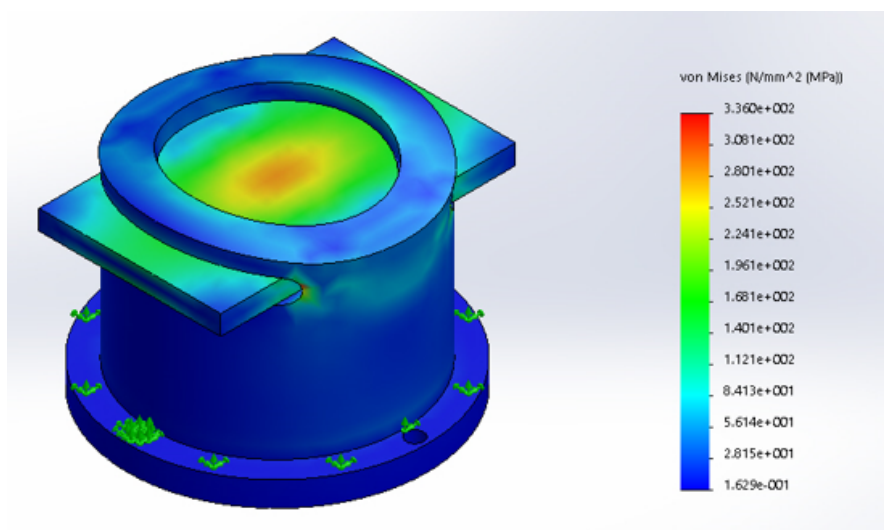


Figura 3.40: Representação da malha considerada na simulação.

Pelo gráfico de *Von Mises*, é possível verificar que o conjunto irá resistir às cargas a que vai ser sujeito. Com esta validação fica confirmado o dimensionamento do compartimento da amostra.

3.6 Cálculos estruturais

A robustez da prensa depende diretamente da robustez da sua estrutura. Além dos elementos dimensionados anteriormente, os parafusos de suporte e a chave de veio 2 também têm que ser calculados, pois suportam cargas elevadas e o seu mau dimensionamento pode comprometer a integridade da prensa.

3.6.1 Parafusos

Os parafusos são elementos de ligação entre peças. Neste projeto existem diversos parafusos, no entanto nem todos estão sujeitos a cargas elevadas. Na figura 3.41 é possível observar os parafusos existentes no projeto.

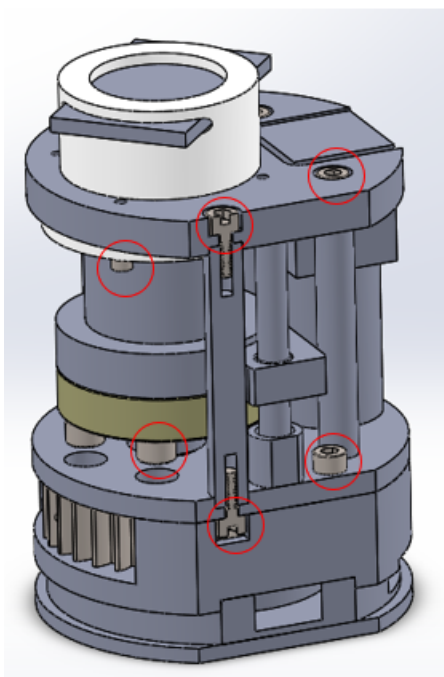


Figura 3.41: Representação dos parafusos existentes na prensa.

A estrutura (3.42) é composta por uma base inferior e uma superior, apoiada em veios cromados ligados por parafusos de apoio que estarão sujeitos a cargas elevadas. Estes são os parafusos que têm que ser dimensionados para não comprometer a integridade do projeto.

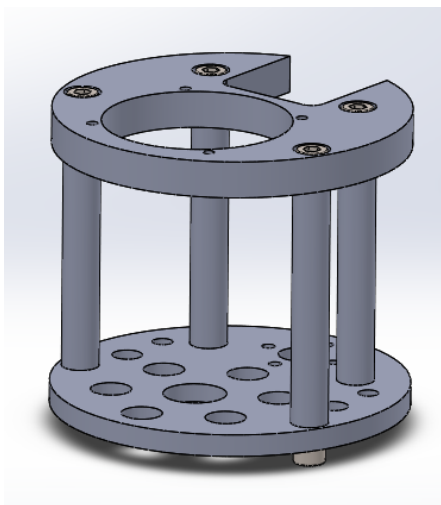


Figura 3.42: Estrutura da prensa sujeita a cargas elevadas.

Para o dimensionamento destes parafusos de ligação recorreu-se à norma VDI 2230. A norma VDI 2230 é um método que permite uma estimação da dimensão do parafuso para uma ligação aparafusada à temperatura de 20°C [4] [14]. Para a utilização desta norma, começou-se por calcular a carga a que os parafusos estão sujeitos. Como é possível observar na figura 3.43, dos quatro parafusos de suporte apenas dois vão suportar a carga resultante da ação do fuso, pois os mesmos estão alinhados com força (parafuso '1' e '2').

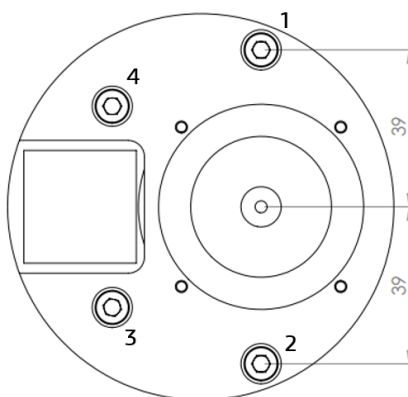


Figura 3.43: Vista de topo da prensa.

Calculando as reações nos parafusos, obtemos o seguinte gráfico (Figura 3.44):

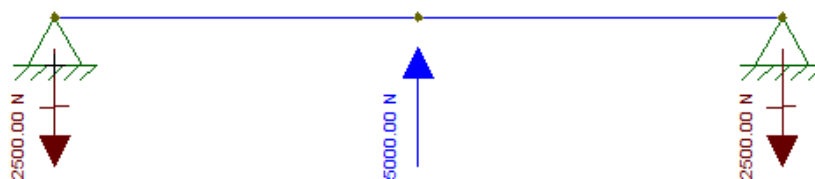


Figura 3.44: Cálculo das reações nos parafusos.

Pelo gráfico, é possível verificar que para uma carga de 5000 N, como os parafusos estão igualmente espaçados em relação a força, cada um irá absorver metade da mesma, ou seja, 2500 N.

Conhecendo a carga que o parafuso tem que suportar, a norma VDI 2230 disponibiliza uma tabela de selecção dos mesmos para as diferentes classes.

Tabela 3.6: Excerto da tabela de escolha de parafusos segundo a norma VDI 2230 [4].

Carga [N]	Classe 12.9	Classe 10.9	Classe 8.8
1600	M3	M3	M3
2500	M3	M3	M4
4000	M4	M4	M5

A classe do parafuso indica a tensão limite elástico e a tensão de rotura do mesmo. Multiplicando por 100 os algarismos à esquerda do ponto obtem-se o valor da tensão de rotura. Multiplicando o algarismo à direita do ponto por 0.1 e pelo valor da tensão de rotura obtem-se o valor da tensão limite elástico. Por exemplo, focando a classe 8.8, a tensão de rotura é $8 \times 100 = 800 \text{ MPa}$ e a tensão limite elástica é $8 \times 0,1 \times 800 = 640 \text{ MPa}$. No projecto todos os parafusos são da classe 8.8.

A selecção do parafuso recorrendo à tabela 3.6 depende, não só da carga, mas também do tipo de solicitação a que está sujeito. Na figura 3.45 é possível observar quantas linhas é necessário avançar na tabela de selecção de acordo com o tipo de solicitação.

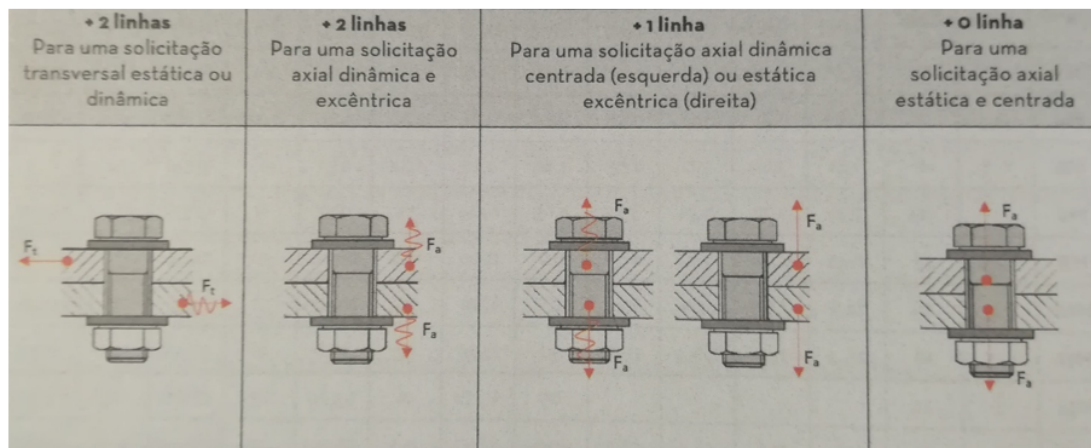


Figura 3.45: Tipos de solicitações possíveis nos parafuso [4].

No caso dos parafusos em causa, como a solicitação é excêntrica após escolher na tabela 3.6 de acordo com a carga, é necessário avançar mais uma linha. O parafuso escolhido de acordo com a norma VDI 2230 é um M5 da classe 8.8. O comprimento dos parafusos é dado pela seguinte expressão:

$$L_{rosca} = 2 \times D \quad (3.40)$$

Como os parafusos são M5, logo, $D=5$, e o comprimento é igual a 10 mm.

Para validar a escolha recorreu-se ao cálculo das tensões que este parafuso efetua nas peças que está a ligar de acordo com a equação 3.39.

Em que:

- σ - Tensão, cujo o valor não pode exceder a tensão limite elástico do aço das peças (Ck45), 300 MPa.
- F - Força que atua numa determinada área. No caso dos parafusos, a atuação da força vai criar tensões de corte e de tração. A força considerada foi o 2500 N.
- A - Área onde atua uma determinada força. No caso das tensões de corte, área a considerar é a representada na figura 3.36 a cor vermelho e a cor verde a área a considerar para as tensões de tração.

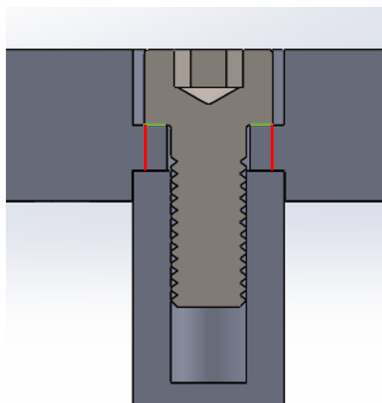


Figura 3.46: Vista em corte da ligação com parafuso.

Na tabela 3.7 é possível verificar os cálculos efectuados.

Tabela 3.7: Validação da escolha dos parafusos.

	F	A	f_s	σ	Validação
Tensão de Corte	2500	80,07	1,5	46,83	46,83 < 300
Tensão de Tração	2500	32,97	1,5	104,25	104,25 < 300

Como os valores das tensões calculadas são inferiores à tensão limite elástica do aço, fica assim validado o dimensionamento dos parafusos.

3.6.2 Chaveta

As chavetas são elementos de ligação entre elementos rotativos, por exemplo, entre um veio e uma engrenagem. Neste projeto foi utilizada uma chaveta para fazer a ligação entre o fuso e a engrenagem. Existem diferentes tipos de chaveta, para esta situação foi usada uma chaveta paralela. O dimensionamento de chavetas depende do diâmetro do veio em que está inserida, neste caso, como está inserida num veio de 15 mm, as dimensões geométricas são as representadas na figura 3.47 sendo que, o comprimento (L) depende da largura da engrenagem.

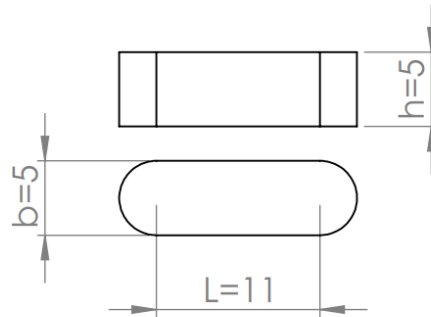
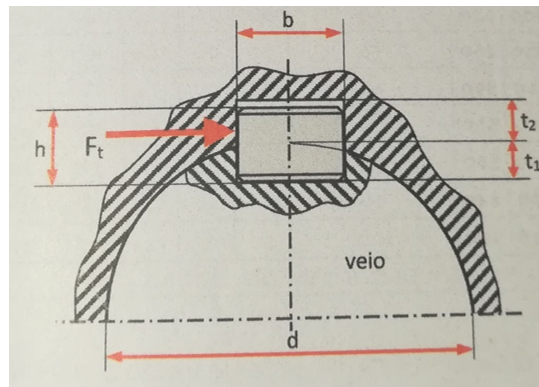


Figura 3.47: Chaveta paralela.

Para o dimensionamento é necessário verificar a resistência ao corte do material da chaveta (τ_{admm}) e devido ao esforço gerado pela ação da força tangencial ($F_t = 326,18$ N) na secção horizontal, é necessário verificar a resistência à compressão (σ_{dadm}) [4]. Na figura 3.48 está representada a ação da força tangencial (F_t) na chaveta.

Figura 3.48: Representação da força F_t a atuar na chaveta.

As fórmulas necessárias para a verificação da chaveta são as seguintes [4]:

$$\tau_a = \frac{F_t}{L \cdot b} < \tau_{admm} \quad (3.41)$$

$$\sigma_d = \frac{F_t}{L \cdot (h - t_1)} < \sigma_{dadm} \quad (3.42)$$

O valor de referência de σ_{dadm} depende do material (EN C45E) e da condição de funcionamento da ligação. Os valores de τ_{admm} e σ_{dadm} assumidos foram:

- τ_{admm} - 100 MPa.
- σ_{dadm} - 200 MPa.

Efetuada os cálculos para a verificação da chaveta obtêm-se:

Tabela 3.8: Validação da chaveta.

	F_t	L	b	h	t_1	σ	Validação
τ_a	326,18	11	5	-	-	5,93	5,93<100
σ_d	326,18	11	5	5	3	14,83	14,83<200

Validados os resultados obtidos, está assim dimensionada a chaveta.

Capítulo 4

Construção da Miniprensa

4.1 Fabrico

Após a finalização do projeto em CAD e da elaboração dos desenhos técnicos (Apêndice B), deu-se início ao processo de fabrico da prensa. O fabrico das peças foi efetuado nas oficinas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. Para o efeito recorreu-se um centro de maquinagem *MIKRON VCE 500* e a um torno convencional *Pinacho S-90/200* (Figura 4.1).



Figura 4.1: À esquerda o centro de maquinagem e à direita o torno convencional.

Algumas peças tiveram que ser preparadas antes do início da maquinagem. Os veios cromados foram cortados numa serra de disco *Struers Lobotom*. O desbaste dos casquilhos, para obter a altura pretendida, foi realizada numa máquina de polimento *Struers RotoPol-21* (Figura 4.2).

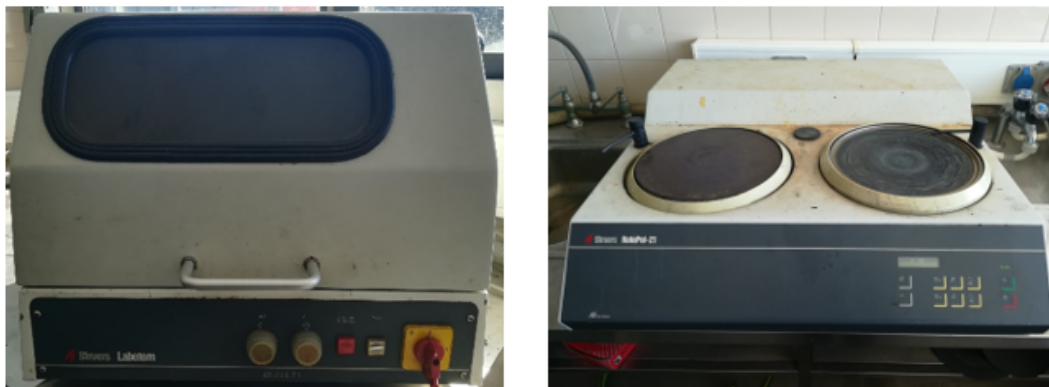


Figura 4.2: À esquerda a serra de disco e à direita a máquina de polimento.

Após a maquinagem dos veios cromados, as rosas foram abertas manualmente através de um jogo de machos M5 de passo grosso (Figura 4.3).



Figura 4.3: Jogo de machos.

O veio 1 foi desenhado para entrar a pressão na engrenagem. Para a colocação do veio na engrenagem recorreu-se a uma máquina de ensaios universal *Shimadzu AG-50kNG*. Ponderou-se a necessidade de posteriormente efetuar um cordão de solda nas juntas das peças, no entanto, após verificar que a força necessária para o encaixe das peças foi bastante elevada (15 kN), esta opção foi colocada de parte. Na figura 4.4 é possível observar o resultado da junção destes componentes.



Figura 4.4: Veio e engrenagens acoplados.

Para uma maior durabilidade e para proteger contra a corrosão, as peças maquinadas foram revestidas com *spray* de um verniz *Luxens* -Verniz Universal Mate.



Figura 4.5: Peças a secar após aplicação do revestimento.

No conjunto motorreductor, o motor tem dupla saída, ou seja, no lado oposto do veio de saída do redutor existe um veio saliente com a finalidade de possibilitar a aplicação de um *encoder*. No entanto a não necessidade de um *encoder*, e pelo facto que o veio obstruir o compartimento da amostra, o mesmo foi retirado com recurso a uma rebarbadora com disco de corte, tendo-se o cuidado de fazer o corte faseado para não aquecer e, porventura, danificar o rolamento mais próximo.

Durante o processo de montagem, houve necessidade de pequenas alterações em algumas peças. Na base dos rolamentos, na parte inferior, houve a necessidade de abrir

um caixa para criar mais espaço para a cablagem. Posteriormente foi colocado em toda a volta da caixa uma folha de plástico para evitar curto-circuitos nas ligações.

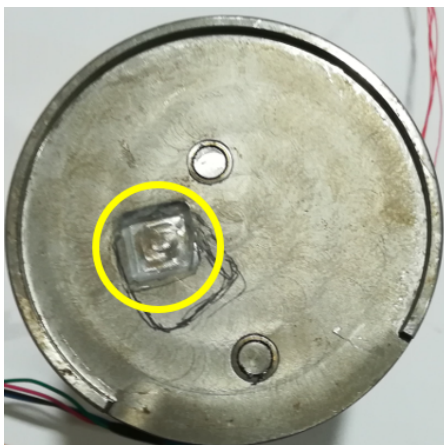


Figura 4.6: Correção efetuada na parte inferior da base dos rolamentos.

No suporte da porca e da célula de carga, houve necessidade de aumentar o rasgo lateral para facilitar a passagem dos fios provenientes da célula (Figura 4.7).



Figura 4.7: Suporte da porca e da célula de carga corrigida.

4.2 Montagem

Finalizada a maquinagem das peças deu-se início ao processo de montagem. Durante este processo, como referido anteriormente, houve a necessidade, em algumas peças, de pequenos retoques para facilitar alguns encaixes. Na figura 4.8, é possível observar as peças principais usadas na construção da prensa.



Figura 4.8: Peças principais do sistema.

Os casquilhos existentes foram inseridos recorrendo a uma máquina de ensaios universal *Shimadzu AGS-X 10kN*.

A lubrificação dos componentes cinemáticos foi realizada com massa consistente *Rep-sol Grasa Lítica Especial EP 2/3*. Foram lubrificados os veios, as engrenagens o fuso e a porca, tentando com isso baixar atritos e aumentar a eficiência da prensa.

A montagem da prensa é efetuada por conjuntos, em que os mesmos são:

- **Conjunto 1:** base + motor + varões de suporte (Figura 4.9).

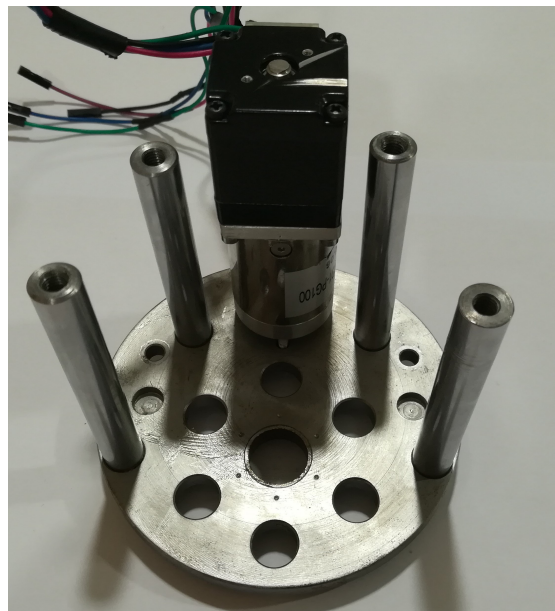


Figura 4.9: Conjunto base + motor + varões de suporte.

Este conjunto é montado aparafusando pela parte inferior da base os varões de suporte com parafusos CHC M5, e o motor com parafusos CHC M3.

- **Conjunto 2:** base engrenagens + engrenagens (Figura 4.10).



Figura 4.10: Conjunto base engrenagens + engrenagens.

Este conjunto é montado inserindo o veio do pinhão no respetivo casquilho, colocando o anel na ranhura circular da base. A engrenagem de maior dimensão deve ser colocada alinhada com o furo do casquilho para posteriormente ser inserido o veio do fuso.

- **Conjunto 3:** Porca + célula de carga + fuso (Figura 4.11).

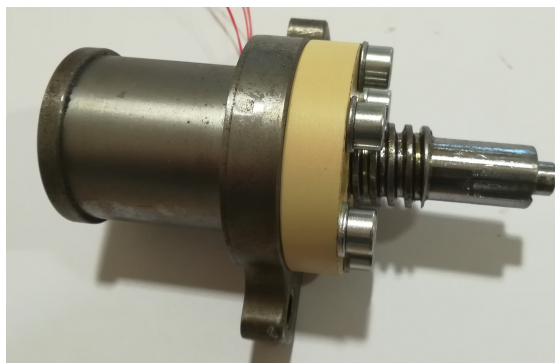


Figura 4.11: Conjunto porca + célula de carga + fuso.

Este conjunto é montado colocando a célula de carga na parte superior do suporte e a porca no interior. Para a fixação da porca ao suporte é necessário aparafusar-se seis parafusos CHC M6 com as respetivas anilhas. Após esta etapa estar concluída, o fuso é inserido enroscando na porca.

- **Conjunto 4:** Compartimento da amostra (Figura 4.9).

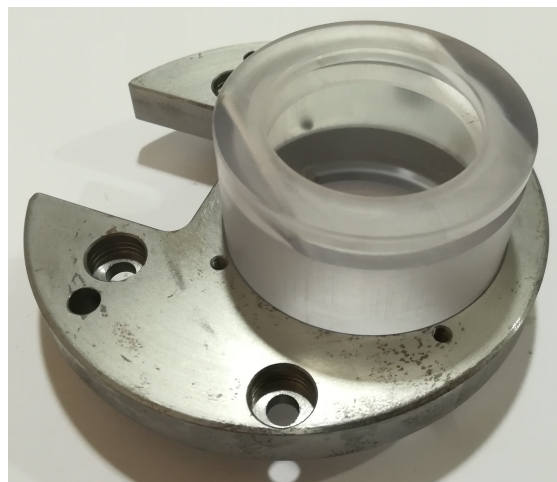


Figura 4.12: Conjunto compartimento da amostra.

Este conjunto é montado, inserindo o compartimento da amostra na base e aparafusando o mesmo pela parte inferior com parafusos CHC M3.

Após a montagem destes conjuntos é necessário seguir os seguintes passos para a montagem final da prensa. Primeiro junta-se o conjunto 1 ao conjunto 3 inserindo o veio do fuso pelo casquilho respectivo fazendo alinhar o suporte da célula de carga e da porca como representado na figura 4.13 .

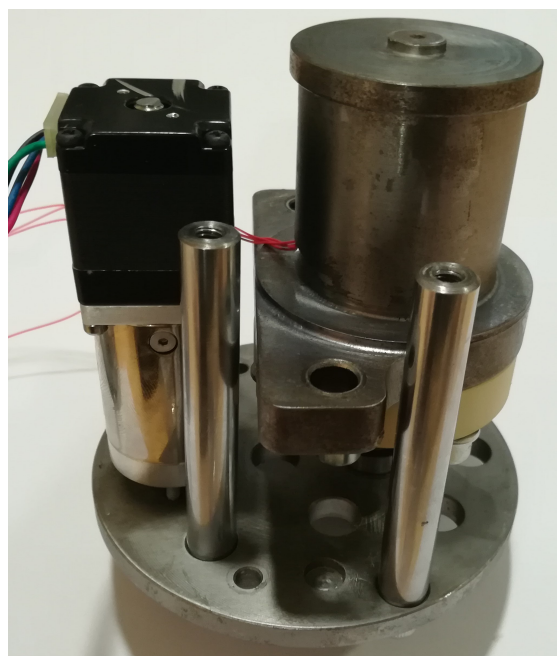


Figura 4.13: Montagem do conjunto 1 com o conjunto 3.

De seguida, a esta montagem junta-se o conjunto 2, colocando a chaveta no veio do fuso e inserindo o mesmo na engrenagem e no casquilho inferior (Figura 4.14). Para a

fixação destes componentes é necessário aparafusar na base dois parafusos CHC M5.

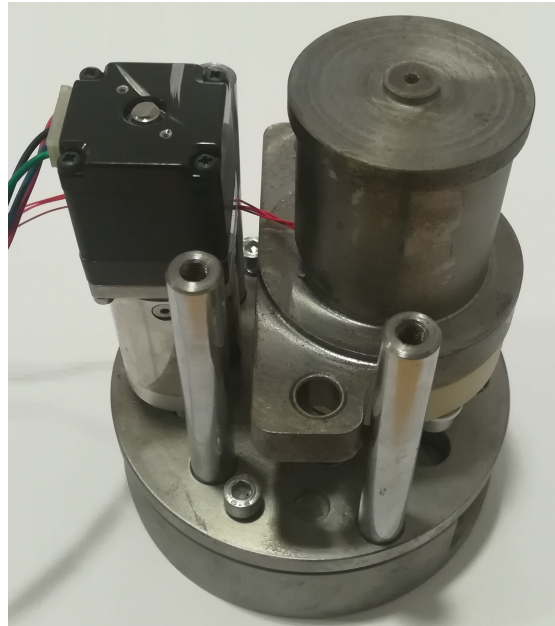


Figura 4.14: Montagem do conjunto 1 com o conjunto 3.

A este conjunto junta-se as guias e o plástico de proteção do circuito elétrico (Figura 4.15).



Figura 4.15: Montagem do conjunto 1 com o conjunto 3.

Para concluir, basta juntar o conjunto 4 aparafusando pela parte superior quatro

parafusos CHC M5 nos varões de suporte (Figura 4.16).



Figura 4.16: Montagem do conjunto 1 com o conjunto 3.

Capítulo 5

Eletrónica

5.1 Comunicação

A comunicação entre a prensa e o computador é um aspecto crítico do projeto. Nesta fase do projeto, descobriu-se que contrariamente ao referido pelo fabricante, a ficha do interior do *scanner* tinha uma tensão de 12 V e não 5 V. Para a comunicação, essa ficha no interior do *scanner* permite a ligação ao computador. No entanto, o facto de ser impossível aceder aos componentes eletrónicos do *scanner*, e o desconhecimento do tipo de comunicação, a decodificação da mesma foi feita por tentativas.

Como a ficha do interior é de quatro pinos (12V, 0V, RX, TX), semelhante a uma *USB*, essa foi a primeira tentativa. Para isso, ligou-se diretamente o *arduino* à ficha através da sua saída *USB*. Usou-se o *software Termite* para enviar e receber mensagens pela porta COM, e verificou-se que esta tentativa não funcionou.

Se usarmos os pinos TX e RX do *arduino* a sua comunicação passa a ser TTL (*Transistor-Transistor Logic*) e não USB. Experimentou-se comunicar com o computador por TTL mas apenas apareceu "lixo" do terminal do computador, o que significa que algo estava a chegar mas não da maneira correta.

Pensou-se que o *scanner* poderia ter um tipo de mensagem próprio, como segurança, que teria que ser respeitado quanto ao *baud rate*, numero de *stop bits* e paridade.

Para ajudar a decifrar o tipo de mensagem, utilizou-se um osciloscópio para visualizar a mensagem que estava a passar entre o *arduino* e o computador. Com o osciloscópio é possível visualizar o formato da mensagem através dos seus bits (Figura 5.1) e assim conhecer o numero de *stop bits*, a paridade e calcular o *baud rate*.



Figura 5.1: Mensagem em bits obtida pelo osciloscópio.

Pelo formato da mensagem obtido pelo osciloscópio, é possível verificar que a mensagem ocorre entre -6 V e 6 V, o que indica que comunicação pode ser RS-232 ou 485, o que explicava o "lixo" da tentativa anterior, pois, os limites da comunicação TTL é sempre entre 0 V e V_{cc} , e na comunicação RS-232 acontece entre números simétricos até 25 V (Por exemplo, -13 V e 13 V) (Figura 5.2).

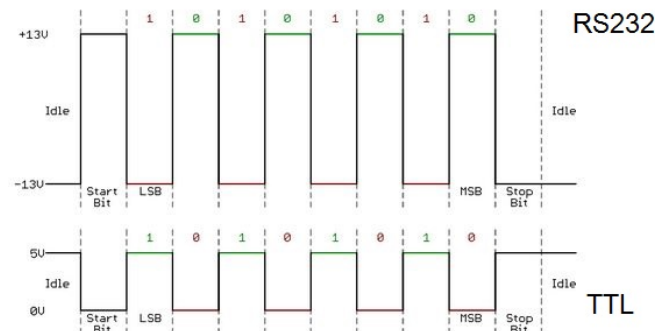


Figura 5.2: Comunicação RS-232 vs TTL.

Para verificar se a comunicação existente é do tipo RS-232, com um conversor *USB* para RS-232 testou-se uma ligação entre dois computadores em que a mensagem passava pela ficha do *scanner* (Figura 5.3).

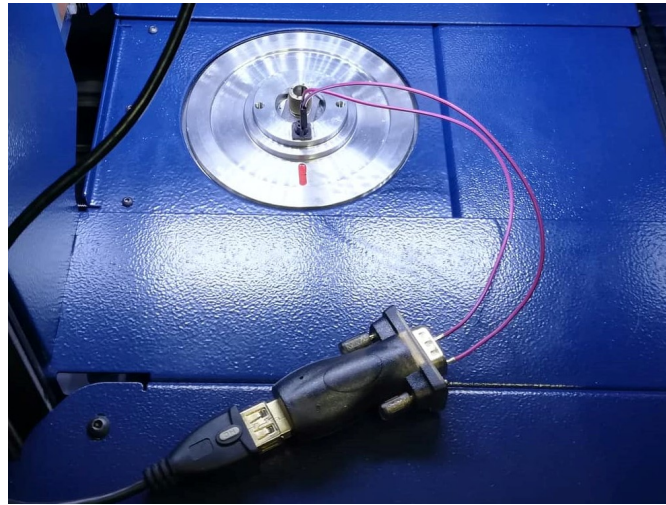


Figura 5.3: Conversor RS-232 para USB ligado à ficha interior do *scanner*.

Este teste foi um sucesso, e ficou assim conhecido que o tipo de comunicação entre a ficha e o computador é RS-232. Devido a este facto, para ser possível a um micro-controlador, como por exemplo um *arduino* comunicar com o computador é necessário um conversor da mensagem do *arduino* para RS-232. Para a conversão do sinal TTL para RS-232 recorreu-se a um circuito integrado (MAX232). Como teste final, testou-se a comunicação entre o *arduino* e o computador que foi um sucesso (Figura 5.4).

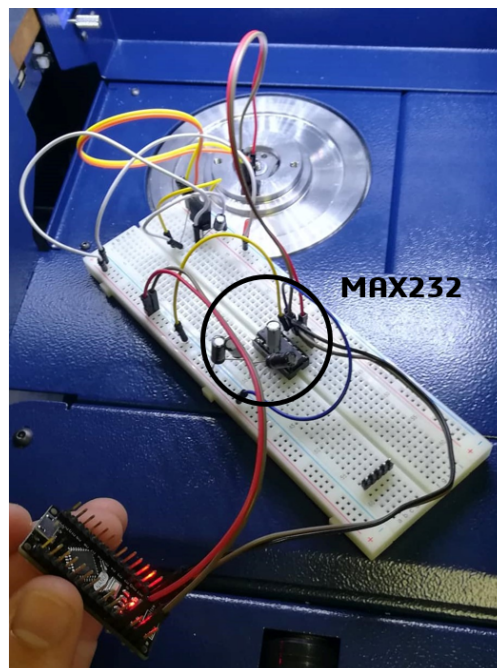


Figura 5.4: Montagem mínima para comunicação entre o *arduino* e computador.

5.2 Componentes

A componente eletrónica do projeto é bastante importante, pois sem ela seria impossível controlar e fazer a aquisição dos dados da prensa. Todo o circuito é alimentado pela tomada no interior do *scanner*. Da eletrónica deste projeto, além do motor já previamente selecionado, fazem parte os seguintes componentes:

5.2.1 *Arduino Nano*

O *Arduino Nano* é um microcontrolador de fácil uso e de dimensões reduzidas (figura 5.5). É ele que vai gerir o funcionamento de todos os componentes do circuito, e fazer a interação com o computador.

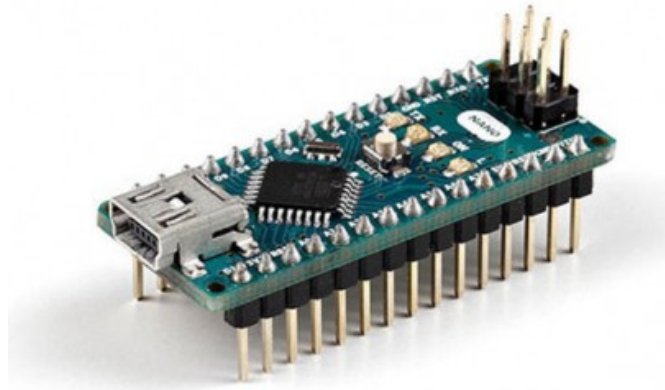


Figura 5.5: *Arduino Nano*.

Especificamente, o *arduino* vai ter que controlar os movimentos do motor, ler os valores da célula de carga e comunicar com o computador. A ligação ao *arduino* é feita através de pequenos cabos que encaixam nos seus pinos. Com vinte e dois pinos I/O (*Input/Output*) digitais e oito entradas analógicas fazem do *arduino* um instrumento muito versátil e capaz de controlar uma ampla variedade de componentes (Figura 5.6).

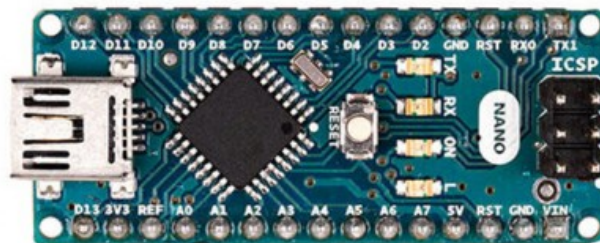


Figura 5.6: Vista de cima do *Arduino Nano*.

O *Arduino Nano*, tem também a capacidade de fornecer uma tensão de 5 V a circuitos externos. Neste projeto, serão usadas saídas digitais para o controlo do motor e uma entrada analógica para a aquisição de dados da célula de carga.

5.2.2 MAX232

MAX232 (Figura 5.7) é um circuito integrado produzido pela *Texas Instruments* com a finalidade de converter sinais TTL (*Transistor-Transistor Logic*) em RS-232 (Apêndice D).

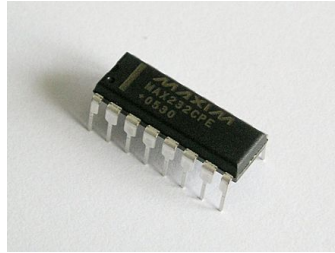


Figura 5.7: Integrado *MAX232*.

Como referido anteriormente no Capítulo 5.1, a comunicação TTL acontece entre 0 V e V_{cc} e a comunicação RS-232 dá-se entre valores simétricos até 25 V (Por exemplo, -5 V e 5V). A criação do integrado *MAX232* vem tornar simples e fácil a conversão destes sinais. As ligações necessárias para o correto funcionamento do integrado estão representadas na figura 5.8.

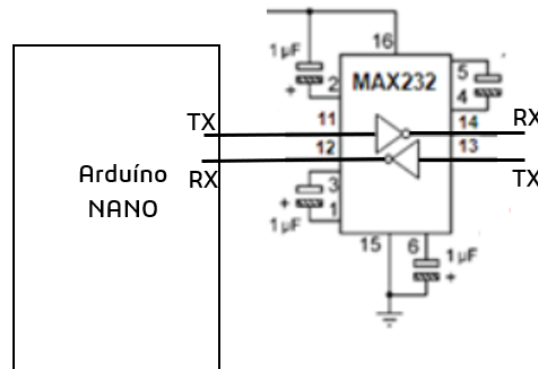


Figura 5.8: Ligações necessárias para o funcionamento do *MAX232*.

Como é possível observar é necessário a colocação de quatro condensadores de $1\mu F$. Para a facilitação das ligações e para uma maior robustez do circuito, foi criado uma placa de circuitos com o *MAX 232* (Figura 5.9). Como era necessário criar um circuito impresso para a distribuição de potência para os diversos componentes, aproveitou-se e juntou-se essa função a esta placa.

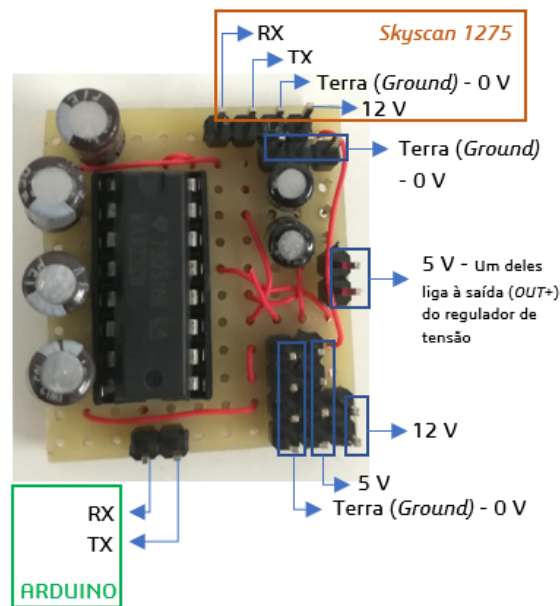


Figura 5.9: Placa de circuitos com as ligações do *MAX232*.

Assim sendo, a placa de circuitos criada tem a função de converter o sinal do *arduino* para a tomada do *scanner* mas também distribuir a potência pelos componentes.

5.2.3 *Driver* do motor (DRV8834)

O *driver* do motor tem a função de alimentar, com a intensidade de corrente requerida, e controlar o motor de acordo com a informação recebida do *Arduino Nano*. Os motores de passo são alimentados por sinais sequenciais nas suas bobinas. O *driver* é responsável pela geração desses sinais, e assim variar os mesmos de acordo com a velocidade e direção pretendida. O *driver* escolhido foi o DRV8834 da empresa *Pololu* (Figura 5.10), pois é um *driver* de baixa tensão e de dimensões reduzidas.

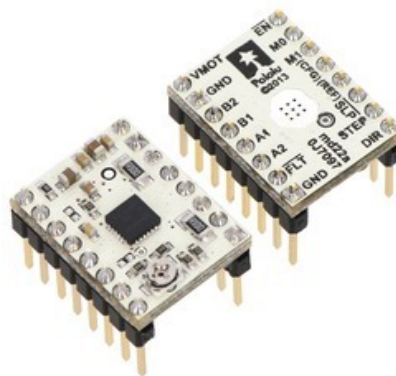


Figura 5.10: *Driver* DRV8834.

O DRV8834 aceita tensões de entrada entre 2,5 V a 10 V. Para proteger o motor de ser alimentado com excessiva intensidade de corrente, o *driver* possui um regulador que permite limitar o máximo de corrente fornecida ao motor. Para limitar a intensidade de corrente fornecida, o fabricante disponibiliza uma fórmula para calibrar o *driver*.

$$\text{Corrente Limite} = V_{ref} \times 2 \quad (5.1)$$

Em que o parâmetro V_{ref} é possível de se ler com um multímetro colocando uma ponta de prova no parafuso do regulador e a outra ponta na terra (0 V). Como o limite de corrente do motor é 0,67 A, o V_{ref} foi regulado para 0,33 V.

O fabricante disponibiliza também um esquema explicativo com as ligações mínimas para o controlo de um motor (Figura 5.11).

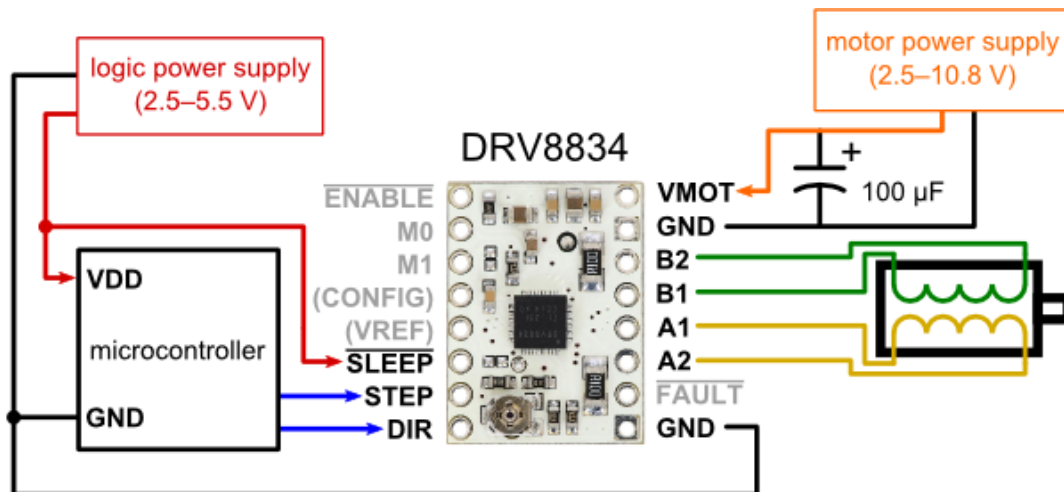


Figura 5.11: Ligações mínimas para controlo do motor de passo segundo o fabricante.

Conhecendo as ligações a efetuar e com o *driver* regulado para o limite de corrente desejado, o circuito está assim pronto para a sua utilização.

5.2.4 INA 125

O *INA 125* é um amplificador de baixa tensão e com uma elevada precisão de referência (Figura 5.12) (Apêndice C). Devido ao facto da célula de carga debitar uma tensão muito baixa nos seus terminais é necessário amplificar essa tensão para que o arduino a consiga ler. A função do *INA 125* neste circuito é amplificar o sinal recebido pela célula de carga e enviar o sinal amplificado para o *Arduino Nano*.

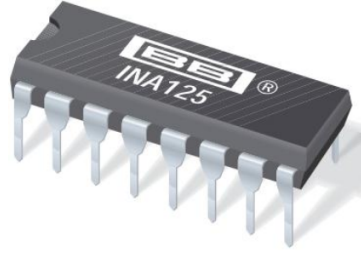


Figura 5.12: INA 125.

O INA 125 tem 16 pinos que consoante as suas ligações é possível ser configurado. A figura 5.13 apresenta o circuito integrado do amplificador com as ligações necessárias para as condições do projeto.

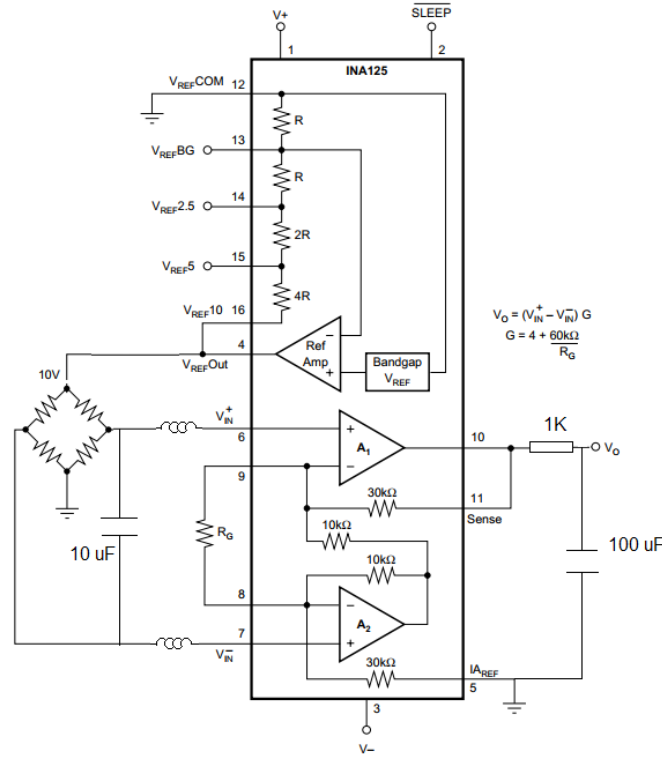


Figura 5.13: Esquema elétrico do INA 125.

Para se tirar partido da fonte de tensão do *scanner*, o *INA* vai ser alimentado com 12 V e, por esse motivo, é necessário ligar o pino 4 com o 16, para que o valor de referência (V_{ref}) seja 10 V. O ganho do amplificador está relacionado com a resistência R_G , ligada nos pinos 8 e 9. O valor do ganho do amplificador é dado pela seguinte fórmula:

$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G} \quad (5.2)$$

A resistência usada tem $56\ \Omega$, logo, o ganho do amplificador é 1075, portanto, o sinal de entrada vai ser amplificado 1075 vezes.

Com a finalidade de filtrar o sinal e assim obter uma melhor leitura da célula de carga, foram acrescentados ao circuito, dois condensadores, uma resistência e duas bobines de acordo com o esquema anterior.

Para facilitar as ligações, foi criada uma placa de circuitos (5.14) com as conexões necessárias às condições do projeto.

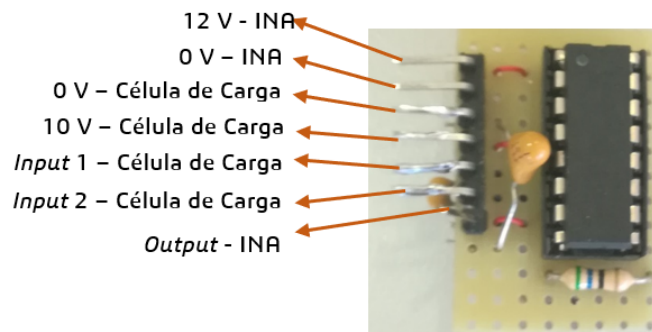


Figura 5.14: Placa de circuitos com as ligações do INA 125.

Após a criação da placa, testou-se a mesma para verificar eventuais anomalias. De acordo com os dados recebido da célula de carga verificou-se o correcto funcionamento do componente, de notar que mesmo com um ganho elevado, devido a filtração efetuada, obteve-se um sinal estável e relativamente preciso. Como é possível verificar na figura 5.15 a oscilação entre os valores de tensão lidos é bastante pequena.

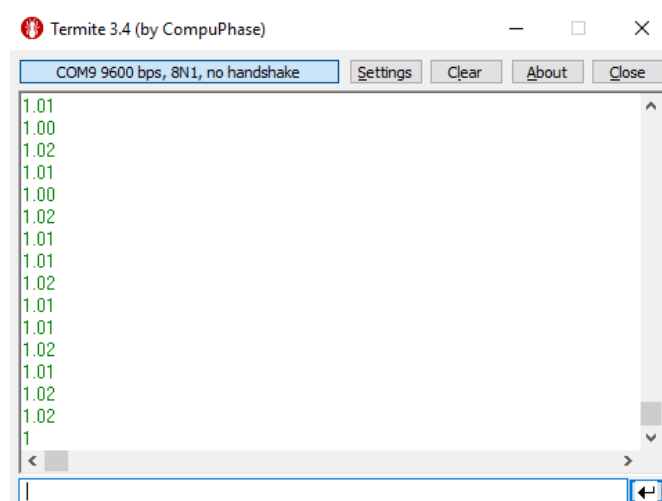


Figura 5.15: Dados de saída do *INA* recebidos pelo computador.

5.2.5 Módulo de regulação de tensão LM2596

O facto da tomada do interior da prensa debitar uma tensão de 12 V, e não 5 V como previamente pensado, torna essencial baixar essa tensão para ser possível a alimentação

do motor e do *Arduino* sem que estes sejam danificados. Para essa função recorreu-se a um módulo de regulação de tensão LM2596 (Figura 5.16).



Figura 5.16: Módulo de regulação de tensão LM2596.

Este conjunto, através do seu regulador de alta precisão, permite uma tensão de entrada entre 3 V e 40 V, e diminui a mesma entre 1,25 V e 35 V. No caso do projeto o pretendido é reduzir a tensão de 12 V para 5 V. A utilização deste módulo é bastante simples, tendo apenas que ser alimentado nos pinos *IN* e nas saídas *OUT* obtemos a tensão desejada (Figura 5.17).



Figura 5.17: Vista superior do módulo de regulação de tensão LM2596.

A regulação da tensão é efetuada através de um pequeno parafuso existente na parte superior do módulo. A alternativa à utilização deste módulo seria usar um transístor com dois condensadores, mas devido à amplitude de queda de tensão pretendida, o mesmo não apresenta segurança para os restantes componentes, havendo um elevado risco de sobre-aquecimento do mesmo. Este módulo por sua vez apresenta uma precisão e robustez que vai permitir que o circuito seja alimentado sem causar problemas aos restantes componentes do circuito.

5.3 Esquema elétrico

Conhecendo os componentes integrantes do circuito, interessa perceber como é que os mesmos interagem. Na figura 5.18 é apresentado um diagrama de blocos representativo do esquema eléctrico usado onde é possível observar as interações entre os componentes.

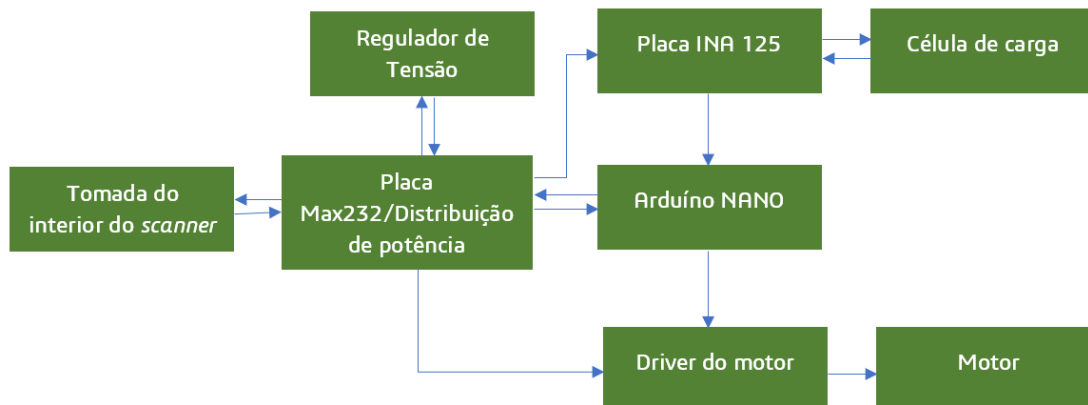


Figura 5.18: Diagrama de blocos representativo do esquema elétrico.

O circuito é alimentado pela tomada do interior do *scanner* com uma tensão de 12 V. Essa tensão é recebida pelo distribuidor de potência que ao interagir com o regulador fica habilitado a fornecer dois níveis de tensão, 12 V (diretamente da fonte) e 5 V (regulados pelo regulador de tensão). A placa do *INA125* é o único componente que recebe 12 V de tensão, sendo que depois alimenta a célula de carga com 10 V. A placa do *INA125* tem a função de receber e amplificar a diferença de potencial correspondente à força aplicada na célula de carga. O *arduíno* é alimentado a 5 V, e tem a função de controlar o motor através do *driver*, e de receber os valores analógicos do *INA125*. O *driver* é alimentado a 5 V e é ele que recebe instruções do *Arduíno* para controlar a velocidade e sentido do motor. A comunicação entre o computador e o circuito é realizada pelo *arduíno* e convertida para RS-232 pelo *MAX232*. Esquema completo no apêndice E.

5.3.1 Código *Arduíno*

O código inserido no *Arduíno* (Apêndice F) foi criado para tornar simples e fácil a utilização da prensa. Para isso, após as ligações da prensa nos respectivos pinos da tomada do interior do *scanner*, o utilizador recebe de imediato, no terminal do computador, os valores da célula de carga em continuo e para o acionamento do motor apenas tem que enviar uma mensagem para a prensa. O controlo do motor foi pensado para três diferentes movimentos de um ensaio, movimento livre, movimento de aproximação da amostra e movimento de compressão. Para isso, foram pré-definidas três velocidades e tempos de rotação distintos. As mensagens a enviar para os respetivos movimentos são:

- fast
- medio
- lento

A definição do sentido do movimento é realizado juntando à mensagem do movimento a enviar a letra "d"(direita) ou "e"(esquerda). Por exemplo, se o pretendido é uma rotação rápida para direita a mensagem a enviar é "fastd".

5.3.2 Montagem do circuito elétrico

A montagem do circuito elétrico implica que todos os componentes devem estar inseridos no interior da prensa. A disposição dos componentes obtida foi a representado na figura 5.19.

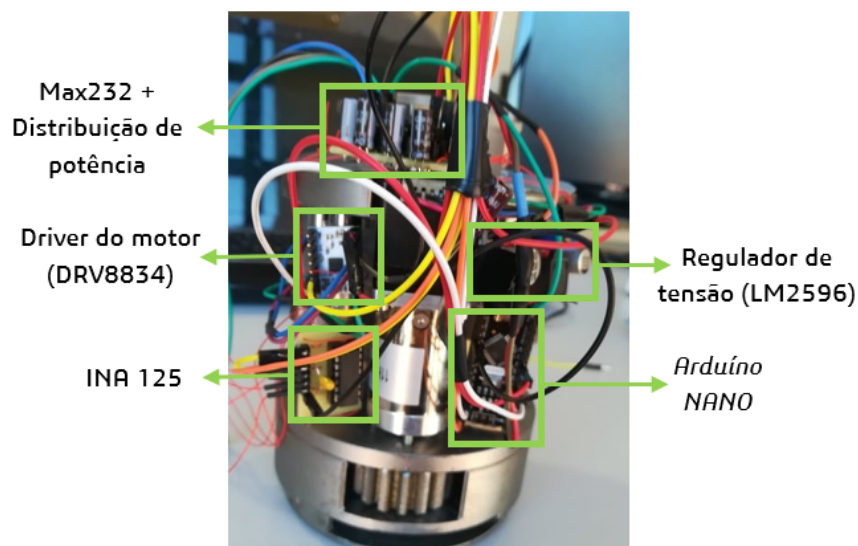


Figura 5.19: Disposição dos componentes eletrónicos na prensa.

Como é possível observar na figura anterior, foi impossível, armazenar toda a cablagem no interior da prensa, no entanto espera-se que isso não seja um problema durante os testes no interior do *scanner* pois existe espaço a volta disponível. A maioria das peças da prensa é feita de aço, e este é bom condutor de eletricidade, por isso, para evitar curto-circuitos nos componentes elétricos foi colocado uma folha de plástico enrolada nos possíveis contactos que os irá isolar.

Capítulo 6

Testes e Resultados

6.1 Validação

Criado o protótipo da prensa, é necessário que este seja validado. A validação do protótipo da prensa foi efetuada em duas fases distintas, a primeira fase fora do equipamento de microCT *Skyscan 1275* e na segunda fase dentro do equipamento.

Na primeira fase, os componentes eletrónicos foram ligados a uma alimentação de 12 V e a um conversor RS-232 para USB de modo a simular os conectores da tomada existentes no interior do *scanner* (Figura 6.1). O objetivo deste teste era apenas verificar se os componentes estavam a operar corretamente.

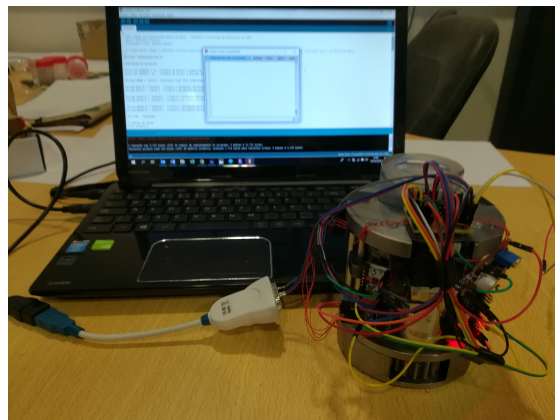


Figura 6.1: Teste da prensa fora do ambiente de trabalho.

Verificou-se que todos os componentes, mecânicos e eletrónicos, funcionaram corretamente validando assim o esquema elétrico e a solução construtiva. As leituras da célula de carga e o controlo do motor desde o computador foram efetuadas com sucesso.

Na segunda fase, a prensa foi colocada no interior do *scanner* e ligada à tomada interna (Figura 6.2). Ligou-se o fio preto ao 0 V, o fio castanho ao 12 V, o fio azul ao TX e o fio roxo ao RX. Observou-se, imediatamente após a ligação da prensa, os valores da célula de carga no terminal do computador e o controlo do motor foi efetuado com sucesso, condições essenciais para o ensaio de compressão.

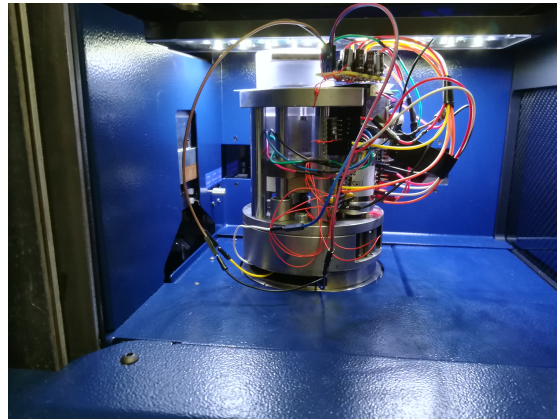


Figura 6.2: Prensa dentro do *scanner*.

Antes da realização do ensaio, como a cablagem dos componentes eletrónicos saía dos limites volumétricos da prensa, efetuou-se um pequeno estudo para perceber se isso afetava a movimentação da mesma dentro do *scanner*. A prensa pode mover-se em dois eixos, x e y , em que o x está relacionado com a amplificação da amostra (quanto mais perto da fonte de raios X maior a ampliação) e o y com o posicionamento da amostra em altura, com o objetivo de centrar a amostra com a fonte de raios-X (Figura 6.3). Conclui-se que, de facto, havia um excesso de cablagem fora dos limites da prensa que impossibilitava a plataforma do *scanner* de descer e rodar na totalidade, sendo que apenas desceu 50 mm de 61,2 mm possíveis.

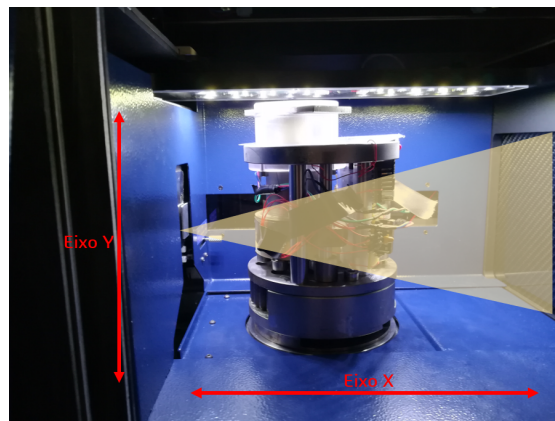


Figura 6.3: Eixos de movimentação da plataforma do *scanner* (na origem) e cone criado pelo raio-X.

Foram realizadas duas digitalizações, uma antes da compressão e outra após da compressão, sendo que antes das digitalizações foi necessário remover todos os elementos que estivessem a obstruir o movimento da prensa.

A amostra selecionada para o ensaio de compressão foi uma espuma de poliuretano (PU) (Figura 6.4).



Figura 6.4: Amostra de poliuretano (PU).

A variação da tensão antes da compressão de 0,76 V para 1,19 depois da compressão de 1,19 V (Figura 6.5) permitiu comprovar o funcionamento da célula de carga durante o ensaio de compressão. Como a amostra a ser analisada era uma espuma, não era espectral a necessidade de realização de elevadas cargas e consequentemente uma elevada variação da tensão.

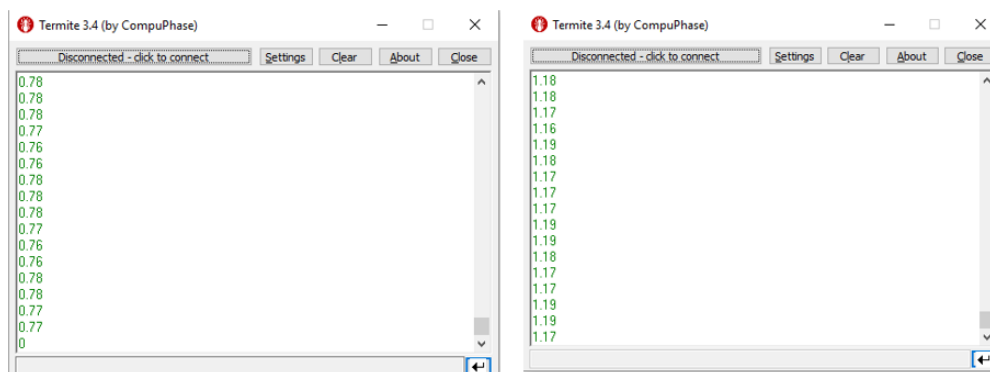


Figura 6.5: Valores de tensão lidos no terminal do computador.

Ambas as digitalizações foram efetuadas nas seguintes condições (Apêndice G):

- Fonte de raio-X: 40 kV e 250 μA .
- Tamanho de pixel: 50 μm .

O tamanho de pixel é inversamente proporcional à proximidade da amostra à fonte de raios-X. Não foi possível otimizar este parâmetro devido ao volume da prensa, optando-se por usar o tamanho de pixel mais elevado.

- Tempo de exposição : 30 ms .
- *Frame Averaging*: 30.
- Passo de rotação: 0,2°.

Este parâmetro indica o passo de rotação da amostra.

Na figura 6.6 observa-se uma das projeções obtidas para cada uma das amostras, sendo possível verificar que a amostra tem pouca nitidez. O elevado contraste entre as peças metálicas e as partes poliméricas (polímero do compartimento (PC) e da amostra

(PU)) não permitiram configurar os parâmetros de aquisição de modo a ter um melhor contraste entre o compartimento e a amostra.

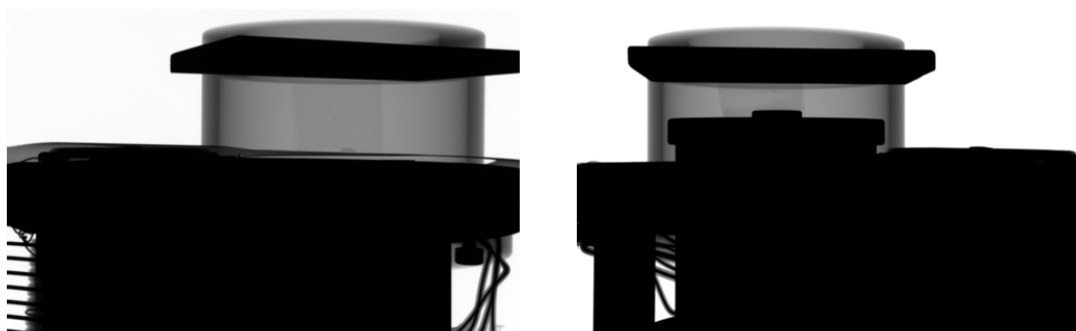


Figura 6.6: Projeções obtidas nas digitalizações efetuadas.

A reconstrução da amostra em fatias horizontais (Figura 6.7) é realizada pelo *software* do equipamento a partir das projeções obtidas.

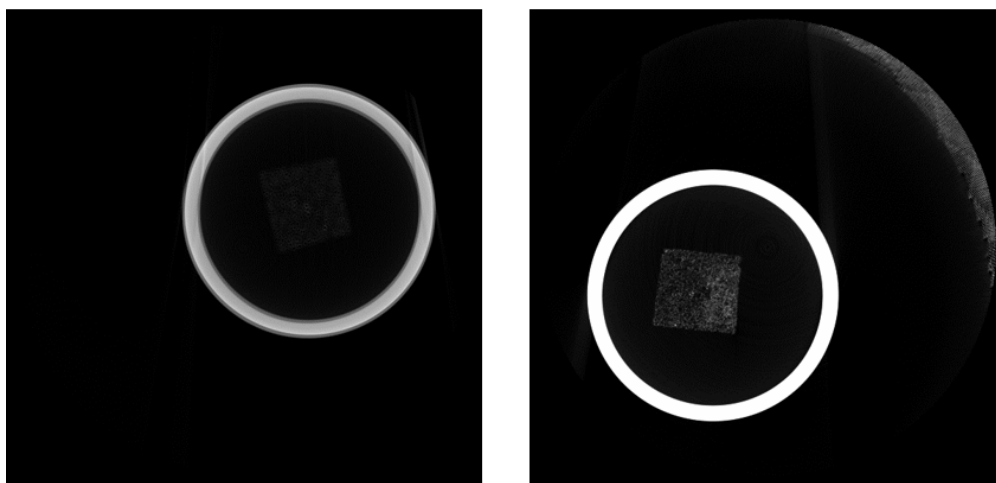


Figura 6.7: Fatias resultantes da reconstrução das projeções.

Através da reconstrução obtém-se um modelo 3D da amostra (Figura 6.8). Com recurso a ferramentas de visão computacional, fornecidas pelo *software*, foi possível criar uma escala de densidade em que o cinza representa os materiais mais densos e a amarelo os materiais menos densos. A nitidez da amostra foi melhorada alterando os valores de transparência dos materiais. Neste modelo é possível constatar a existência de vários artefactos originados durante a reconstrução, típicos em amostras com elementos completamente opacos ao raio-X.

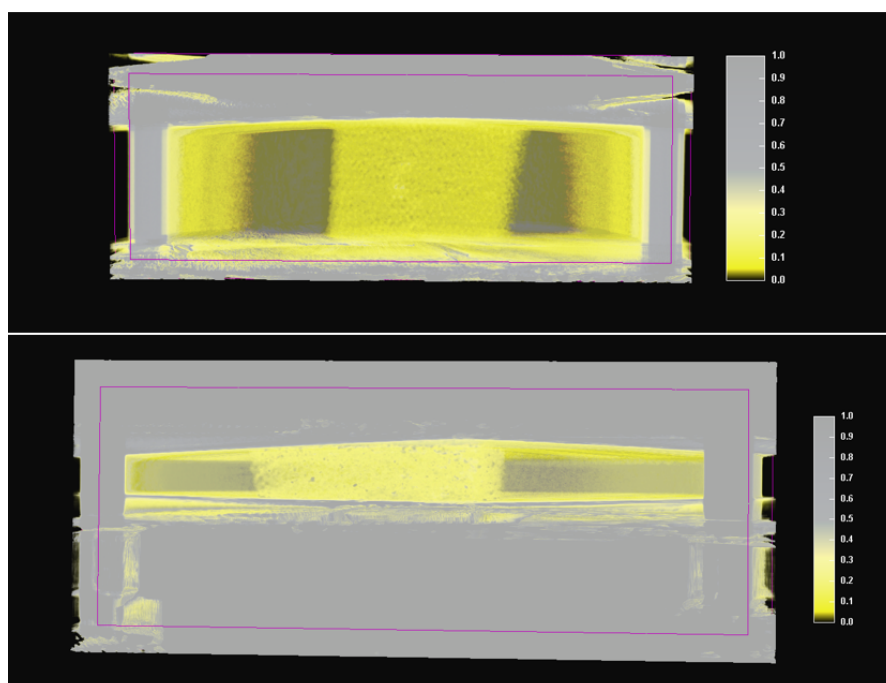


Figura 6.8: Vista em corte do modelo 3D com escala de densidade.

Com base no modelo 3D, foi possível verificar uma redução da porosidade total da amostra quando esta foi comprimida. Inicialmente, a amostra apresentava uma porosidade total de 28,96% tendo sido esta reduzida para 13,4% (Apêndice H e I).

Capítulo 7

Considerações Finais

7.1 Conclusão

O objetivo de criar uma prensa funcional dentro do equipamento *Skyscan 1275* foi concluído com sucesso, desde a comunicação com o computador de serviço até à realização de ensaios de compressão no seu interior. Ficou comprovado o correto funcionamento dos componentes da prensa, nomeadamente os mais complexos e sensíveis como a célula de carga e o controlo do motor.

O teste da prensa foi efetuado através da digitalização de uma amostra de poliuretano (PU) sujeita a um ensaio de compressão. Realizou-se uma análise preliminar da mesma, onde foi possível concluir uma redução da porosidade.

Embora este não seja um produto final, a investigação realizada para a construção deste protótipo, desde a descodificação da comunicação do *scanner* aos aspetos construtivos, permitiu que fosse criada uma base sólida de conhecimentos que podem ser usados para melhorar numa segunda iteração do protótipo.

7.2 Propostas de trabalho futuro

Concluído o projeto com a criação do primeiro protótipo funcional, interessa fazer uma reflexão sobre os aspetos a melhorar no futuro. Com a base de conhecimentos criada neste projeto é possível efetuar novas iterações deste protótipo para um produto final melhorado.

Com o conhecimento adquirido sobre o funcionamento do *scanner*, percebeu-se que seria mais vantajoso que todo o circuito elétrico, principalmente o motor, operasse a 12 V. Esta mudança iria não só simplificar o circuito, pois deixariam de ser necessários alguns componentes (tal como o regulador de tensão), como seria possível obter um motor mais compacto e potente, o que consequentemente resultaria numa diminuição da altura da prensa.

Mesmo com a diminuição do tamanho do motor, esta alteração poderá não ser suficiente para aumentar o compartimento da amostra de modo a que sejam mínimas as obstruções. Idealmente a amostra deveria estar na linha de saída do raio-X. Além disso, é aconselhado que se evite peças metálicas junto da amostra e que o compartimento seja o mais alto possível.

De modo a obter uma boa digitalização de uma amostra é importante que esta

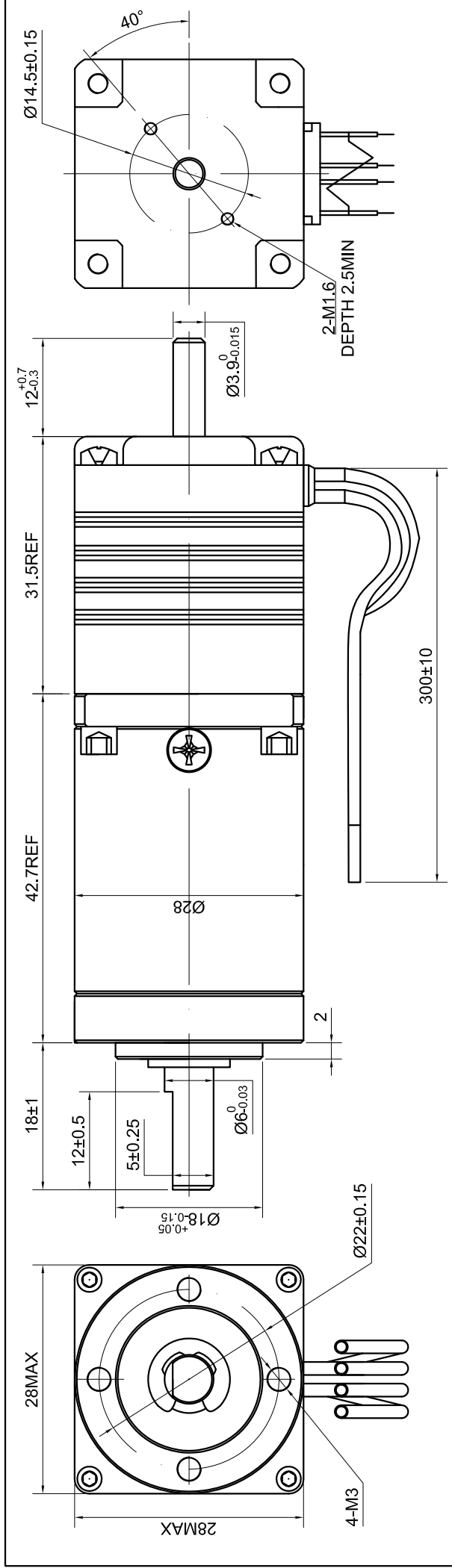
seja o mais centrada possível. Caso contrário, como foi possível provar, irá haver uma maior obstrução ao raio-X num dos lados da amostra, o que irá resultar em artefactos indesejados.

Bibliografia

- [1] Bruker: *Skyscan 1275*. Company Brochure.
- [2] Ramada Aços: *F 10 N*. www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ao-carbono/f10-.html.
- [1] Stepperonline: *Nema 11 Stepper*. www.omc-stepperonline.com/nema-11-stepper-l31mm-w-rear-shaft-and-screw-hole-gear-raio-1001-gearbox-11hs12-0674d1-pg100.html?search=11hs12-0674d1-pg100.
- [3] Completo, António e Francisco Queiroz de Melo: *Introdução ao projeto mecânico*. Engebook – Conteudos de Engenharia e gestão, 2017.
- [4] MicroCT For Comparative Morphology. www.slideshare.net/guestcb85ba/micro-ct-for-comparative-morphology.
- [5] Sie, Liang Hai: *How does a CT scan work? Does it mean a group of x-rays? What is the use of a CT scan? Where is it used?* www.quora.com/How-does-a-CT-scan-work-Does-it-mean-a-group-of-x-rays-What-is-the-use-of-a-CT-scan-Where-is-it-used.
- [6] Bruker: *Object Stages for in-situ examination*. www.bruker.com/products/microtomography/micro-ct-for-sample-scanning/object-stages-for-in-situ-examination.html.
- [7] Usinainfo: *Motores de passo*. www.usinainfo.com.br/motores-de-passo-472.
- [8] Micro Photonics: *How does a micro-CT scanner work?* Micro Photonics Blog, 2015.
- [9] Bruker: *About Us*. www.bruker.com/about-us.html.
- [10] Bruker: *History of Bruker*. www.bruker.com/about-us/history.html.
- [11] Relvas, Carlos Moura: *Design & Engenharia: da ideia ao produto*. Engebook, 2017.
- [12] Maio, João Pedro Martins: *Projeto e construção de máquina de ensaios biaxiais*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2014.
- [13] VDI-Standard: *VDI 2230 Systematic calculation of high duty bolted joints. The Association of German Engineers*, 1986

Apêndice A

Ficha técnica do motor



SPECIFICATION	CONNECTION	BIPOLAR
AMPS/PHASE		0.67
RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C		5.60±10%
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz		4.00±20%
HOLDING TORQUE w/o GEARBOX(Nm)[lb-in]		0.07[0.62]
GEAR RATIO		99 ⁰⁴⁴ ₂₀₅₇
EFFICIENCY		73.00%
STEP ANGLE w/o GEARBOX(°)		1.80
BACKLASH@NO-LOAD		<=1°
MAX.PERMISSIBLE TORQUE(Nm)		4.00
MOMENT PERMISSIBLE TORQUE(Nm)		6.00
SHAFT MAXIMUM AXIAL LOAD(N)		5.00
SHAFT MAXIMUM RADIAL LOAD(N)		25.00
WEIGHT(Kg)[lb]		0.20[0.44]
TEMPERATURE RISE:MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL;FOR 2PHASE ENERGIZED)		
AMBIENT TEMPERATURE -10°C-50°C[14°F~122°F]		
INSULATION CLASS B 130°C[266°F]		

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A —	BLK	A
2	A\ —	GRN	A\
3	B —	RED	B
4	B\ —	BLU	B\

FULL STEP 2 PHASE-Ex.,
WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A	B	A\	B\	CCW	CW
1	+	+	-	-	↑	↓
2	-	+	+	-	↓	↑
3	-	-	+	+	↑	↓
4	+	-	-	+	↓	↑

BLK GRN RED BLU



APVD

8.18.2018

CHKD

DRN

1:5:1

SCALE

SIGNATURE

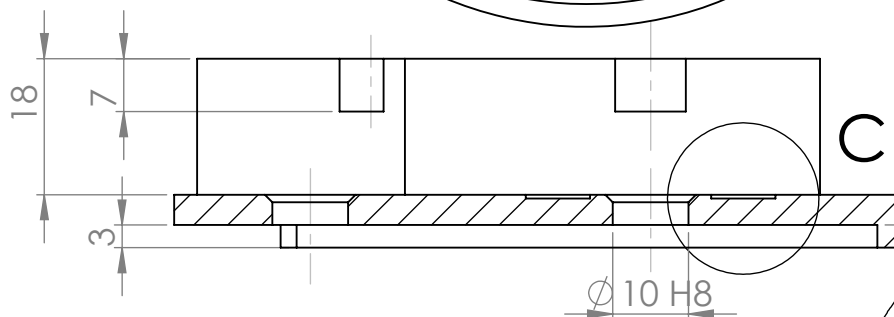
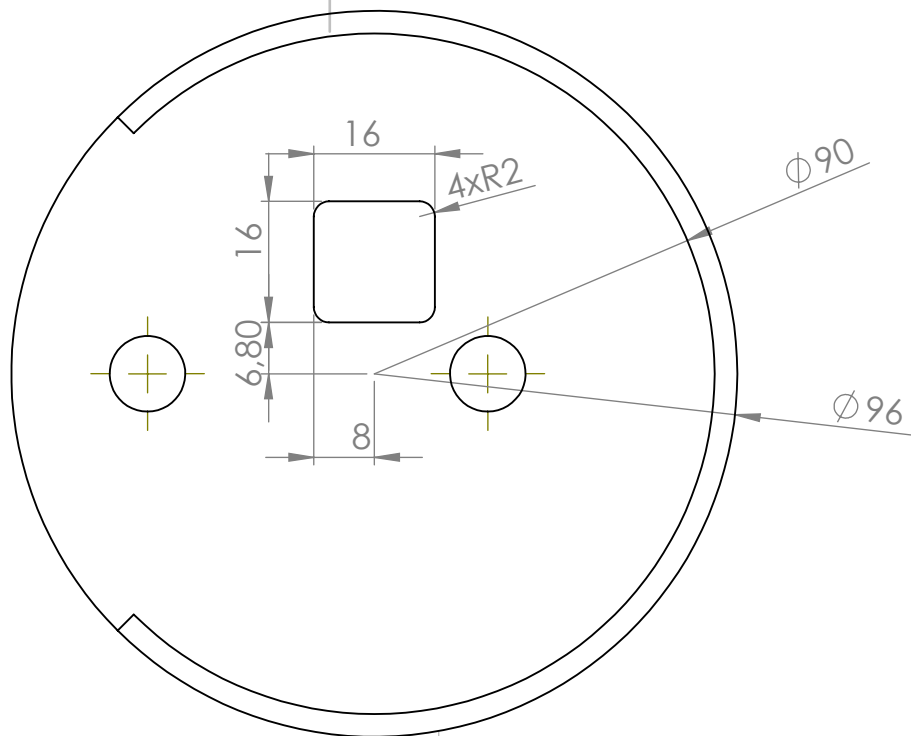
DATE

STEPPER MOTOR

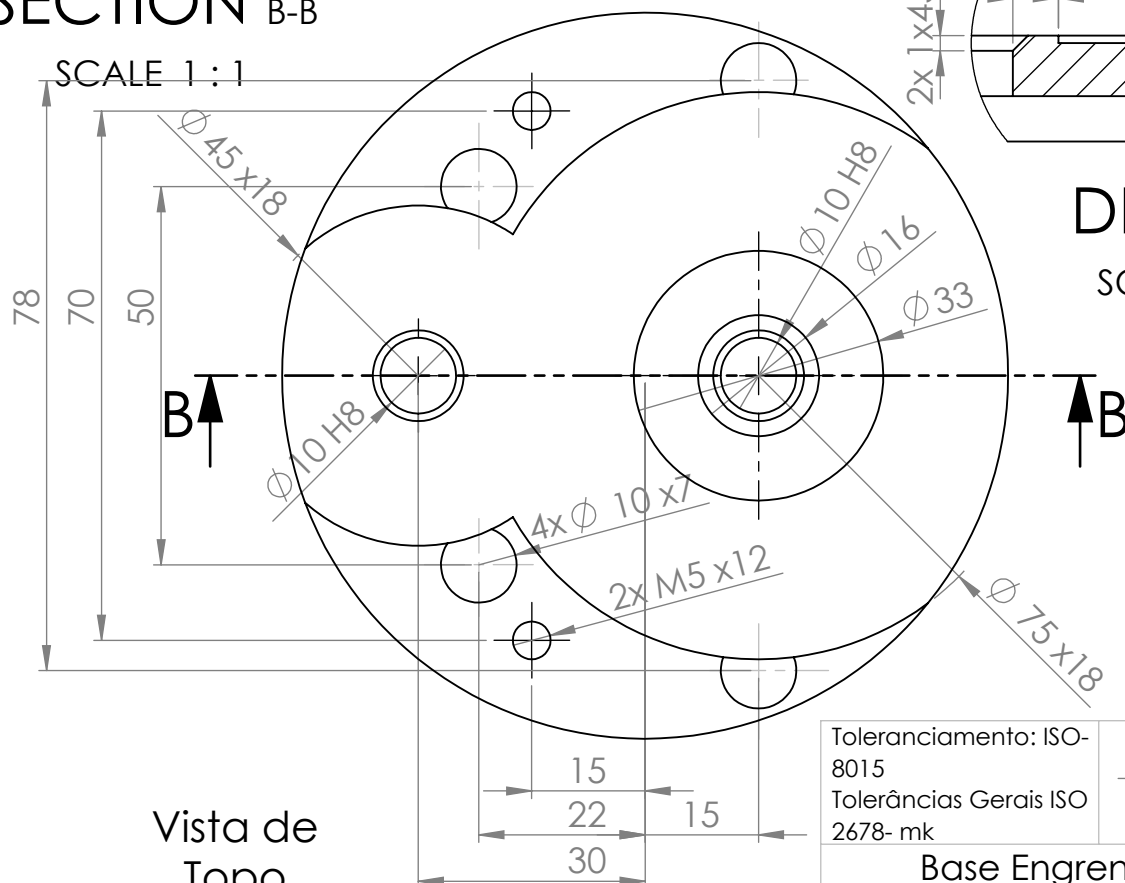
11HS12-0674D1-PG100

Apêndice B

Desenhos



SCALE 1 : 1



DETAIL C
SCALE 2:1



Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk

Base Engrenagens

Material	DIN Ck 45
----------	-----------

dwg n°

Quantidade: 1

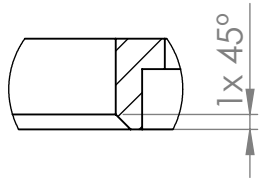
1

Francisco Felicio

20/09/18

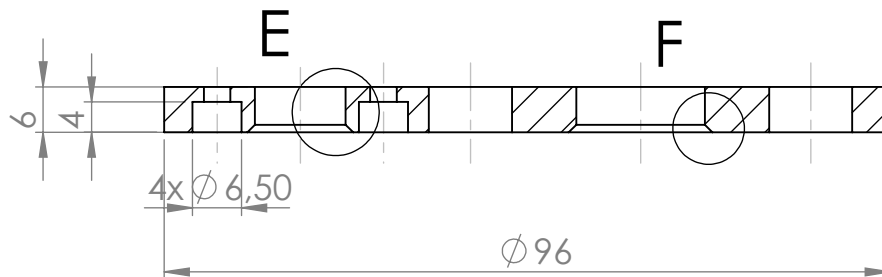
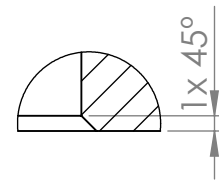
DETAIL E

SCALE 2:1



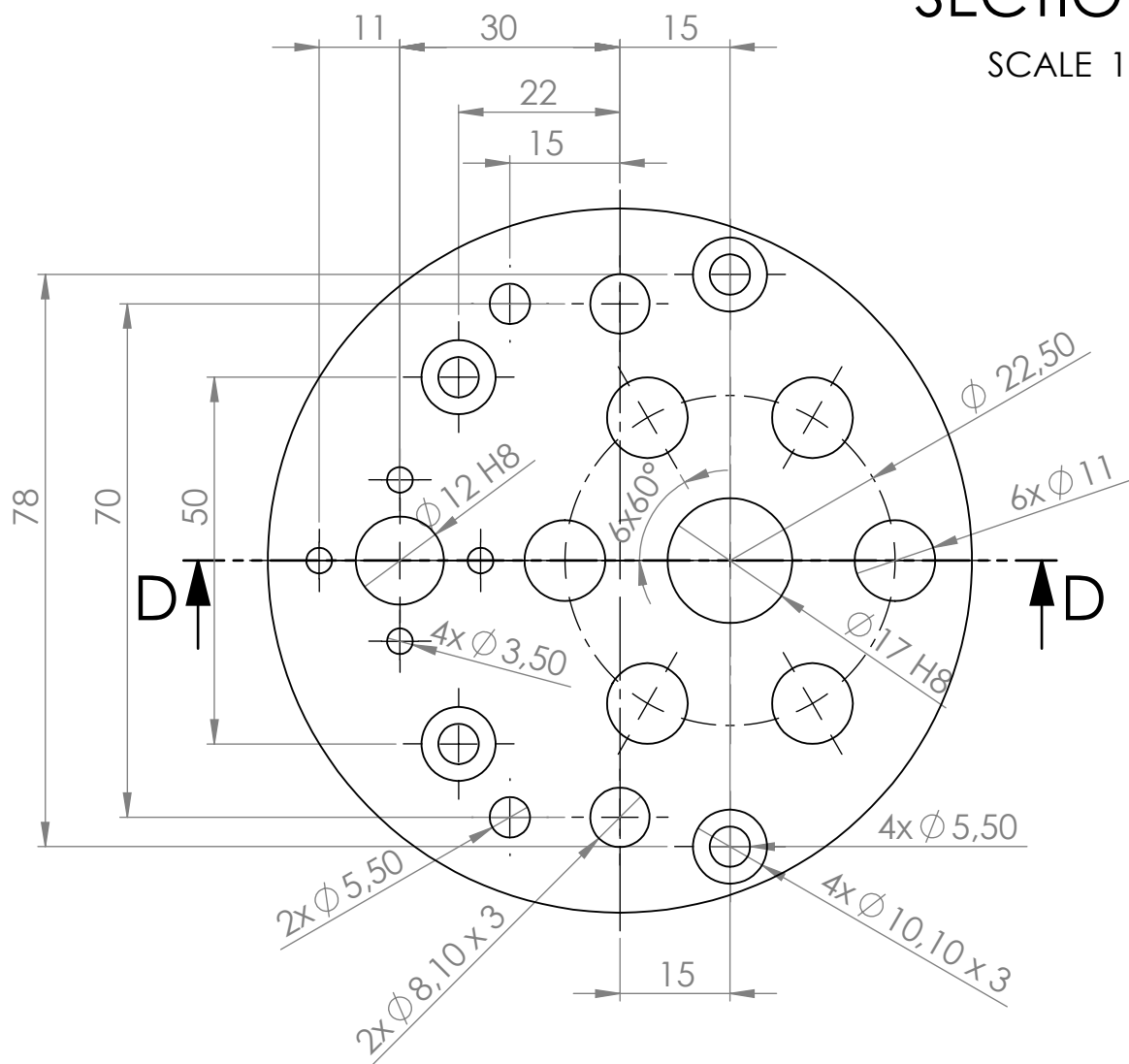
DETAIL F

SCALE 2:1

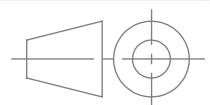


SECTION D-D

SCALE 1:1



Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



Base

Material
DIN Ck 45

dwg nº

Quantidade: 1

2

Francisco Felicio

20/09/18



4 3 2 1

F

F

E

E

D

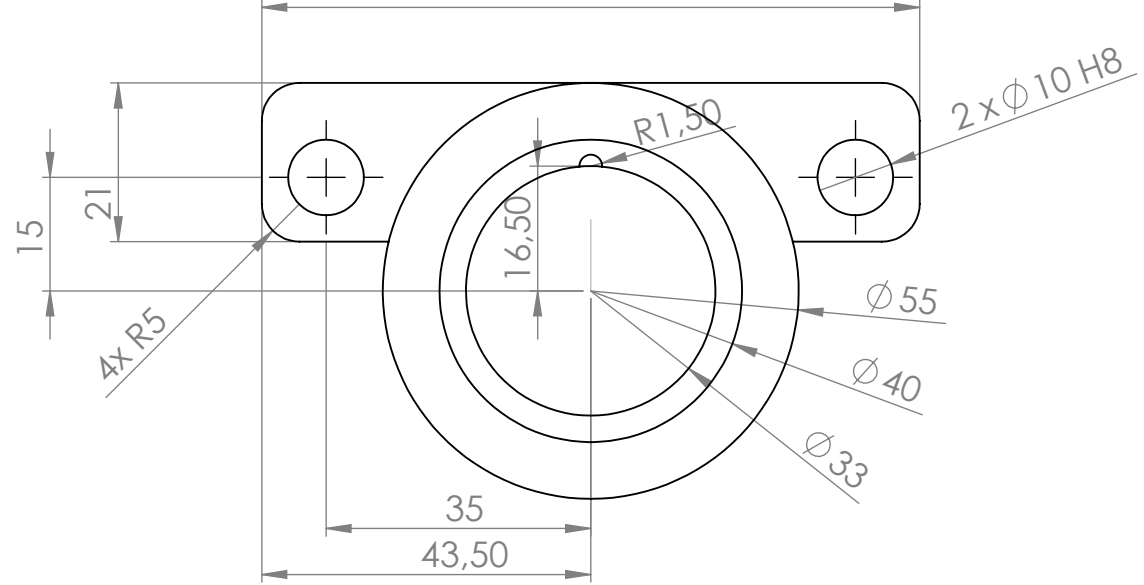
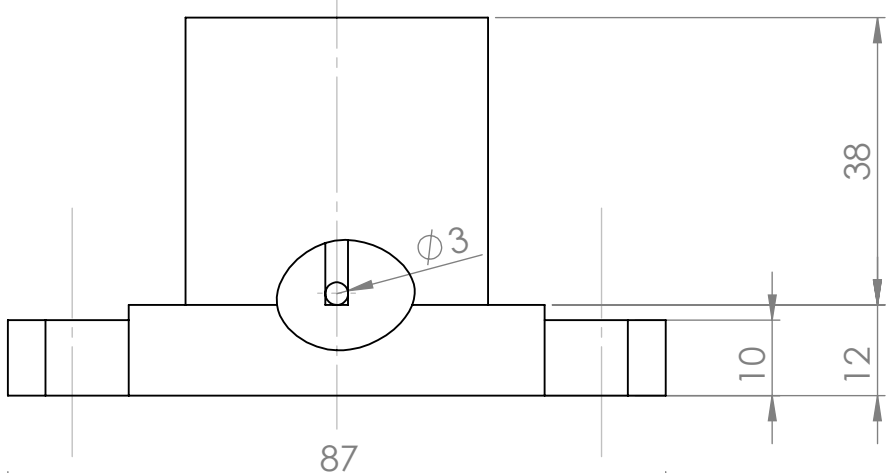
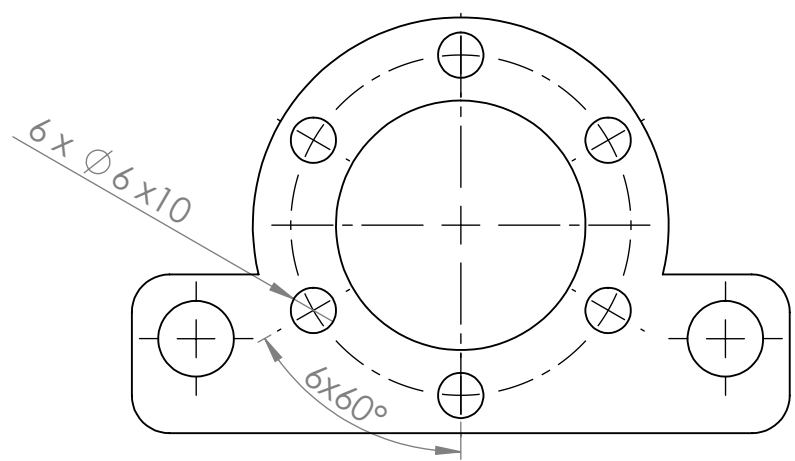
D

C

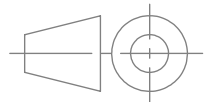
C

B

B



Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE	Quantidade	1
DRAWN Francisco Felicio		10/10/18		
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

MATERIAL:

DIN Ck 45

TITLE:
**Suporte da célula
de carga**

DWG NO.

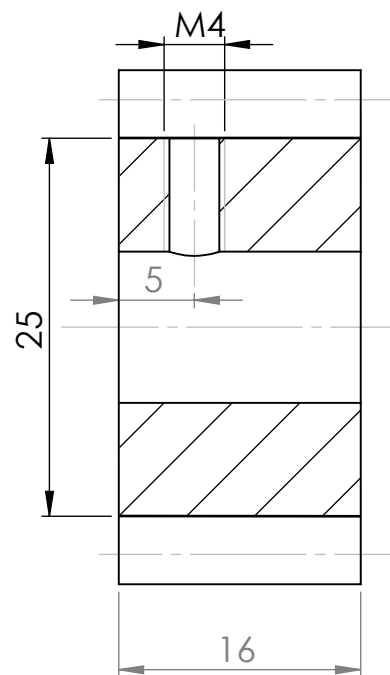
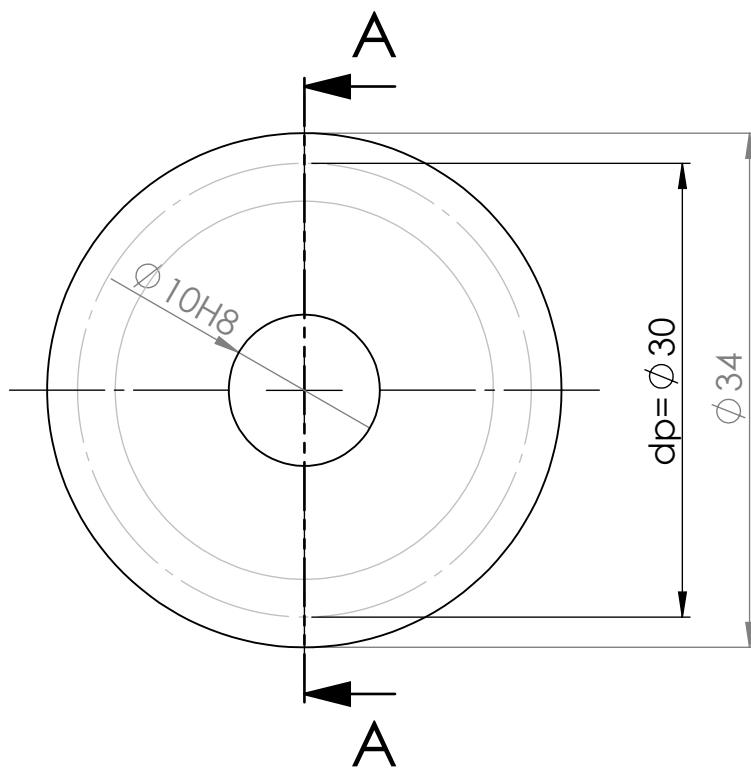
5

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

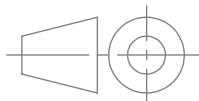
4 3 2 1



SECTION A-A

m=2
Z=15

Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

Engrenagem Z:15

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN Francisco Felicio		1/10/18			
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

Quantidade 1

MATERIAL:

DIN Ck 45

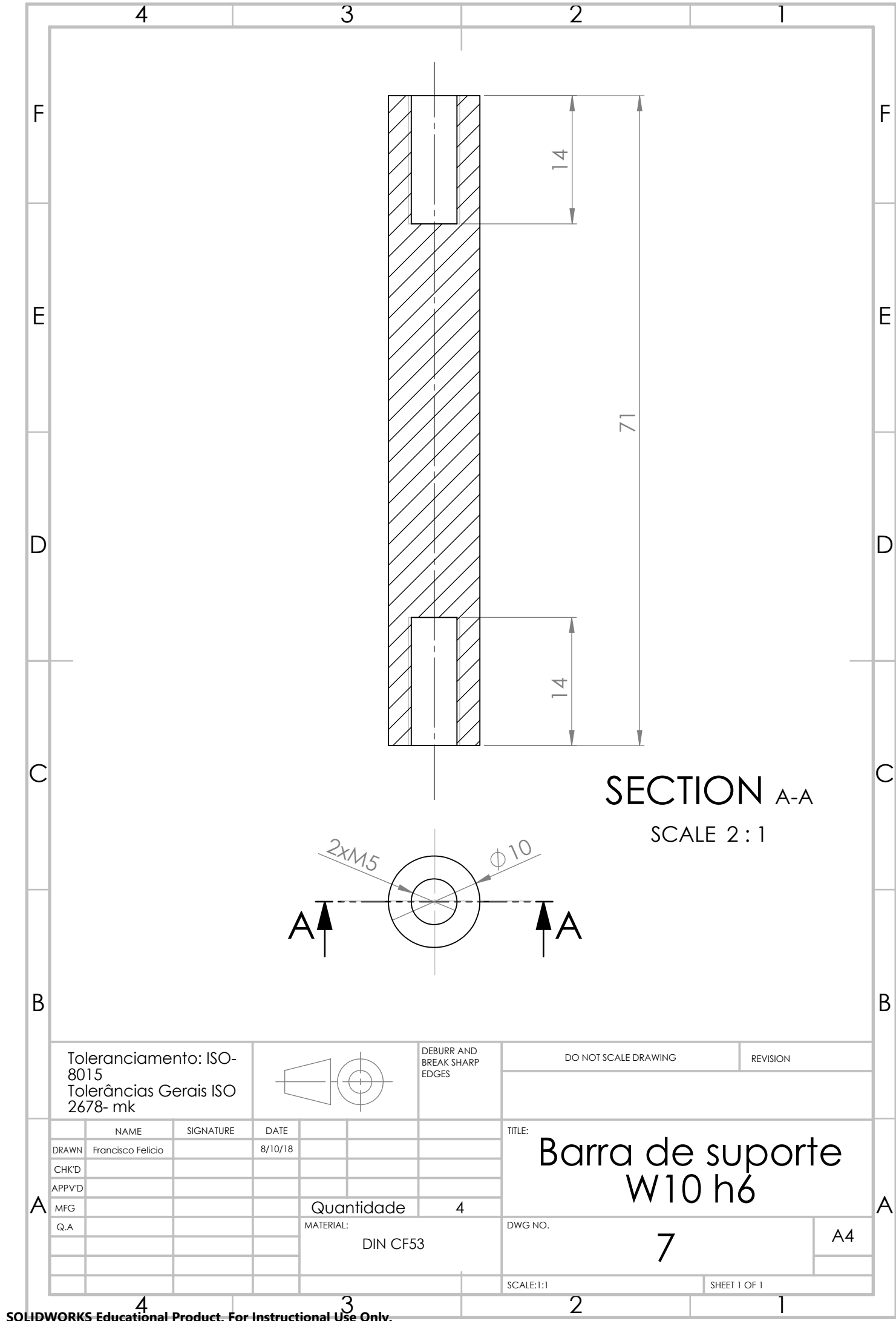
DWG NO.

6

A4

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



C

B

A

F

E

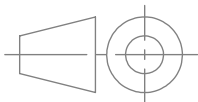
D

C

B

A

Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

Barra de suporte
W10 h6

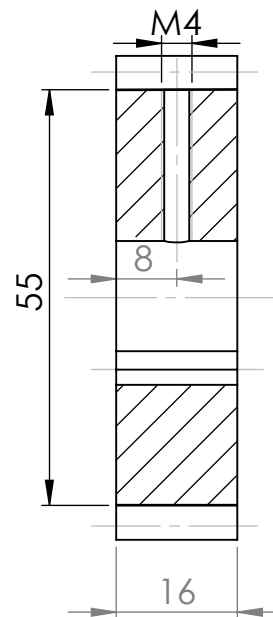
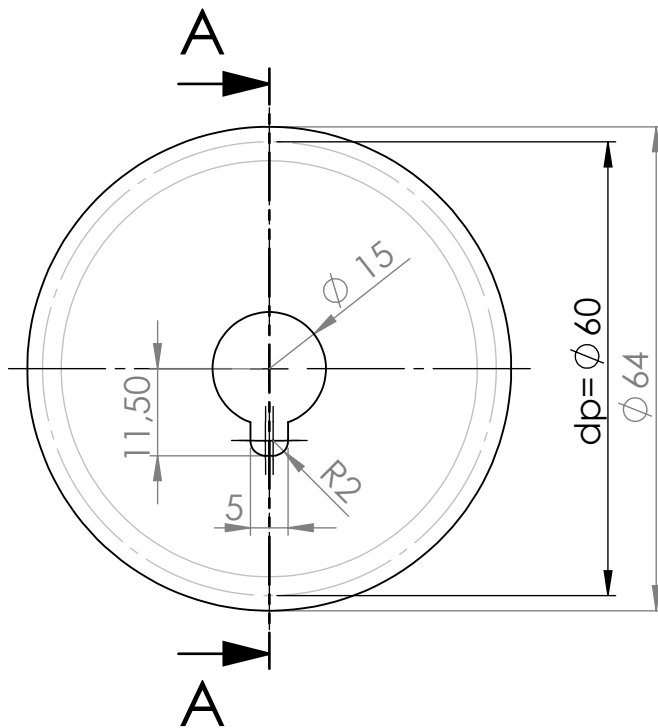
DWG NO.

7

A4

SCALE:1:1

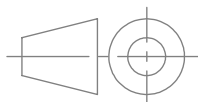
SHEET 1 OF 1



SECTION A-A

m=2
Z=30

Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN Francisco Felicio		1/10/18			
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

Engrenagem Z:30

Quantidade: 1

MATERIAL:

DIN Ck 45

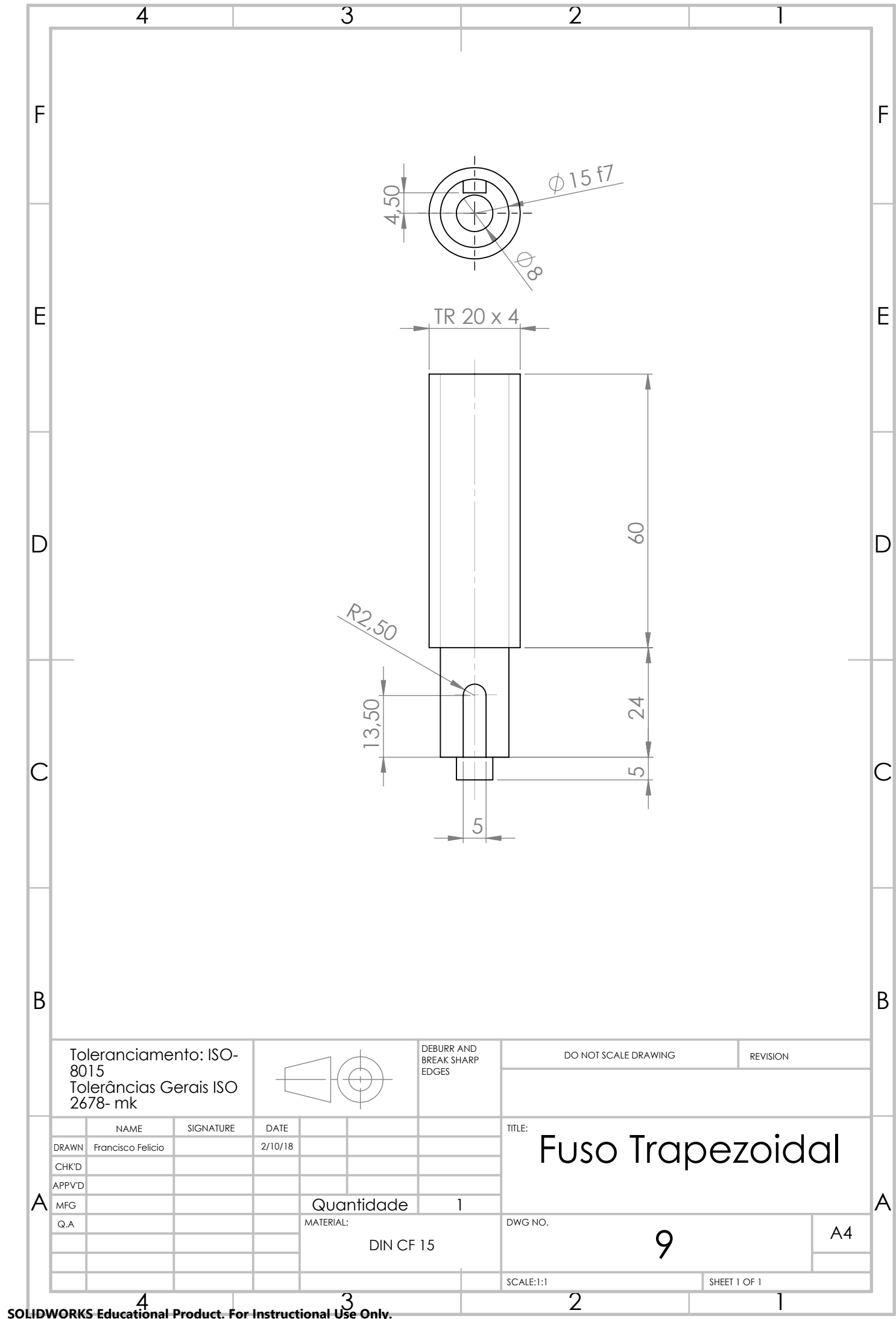
DWG NO.

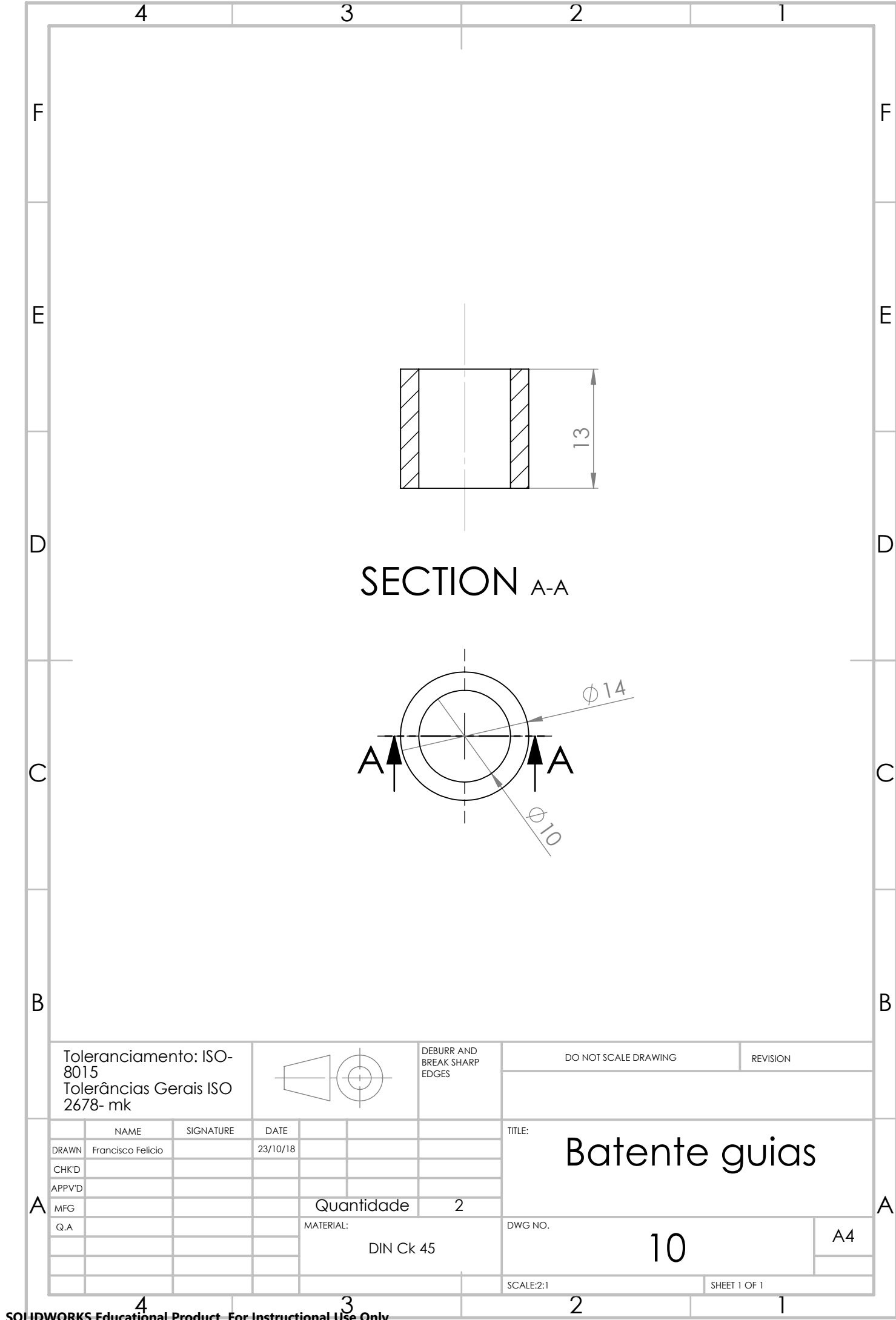
8

A4

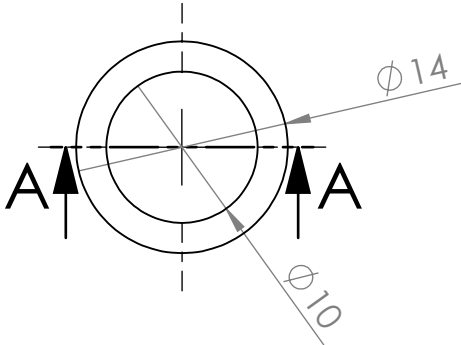
SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

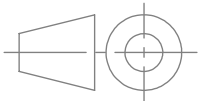




SECTION A-A



Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	Francisco Felicio		23/10/18			
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A						

Quantidade 2

MATERIAL:

DIN Ck 45

TITLE:

Batente guias

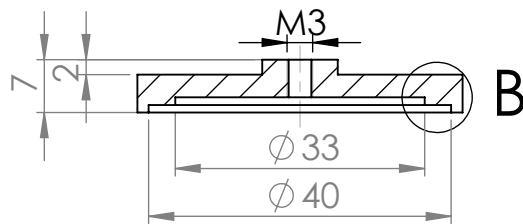
DWG NO.

10

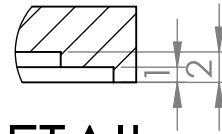
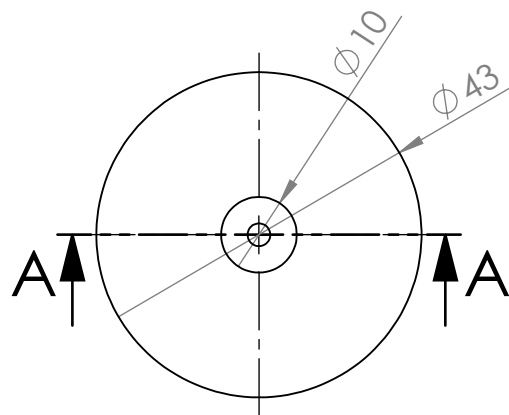
A4

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1

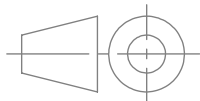


SECTION A-A



DETAIL B
SCALE 2 : 1

Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN Francisco Felicio		20/09/18
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		

TITLE: Célula de carga

Quantidade 1

MATERIAL:

DIN Ck 45

DWG NO.

12

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

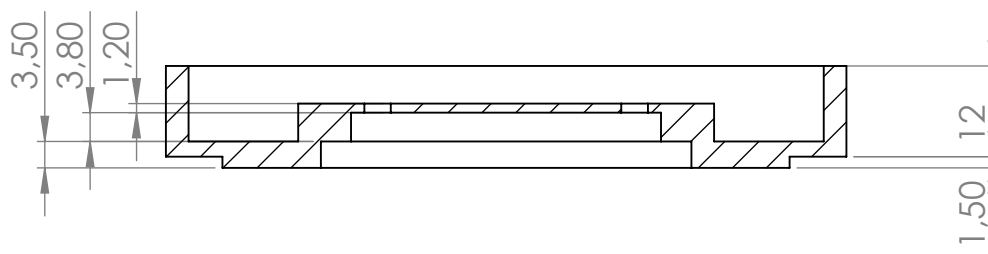
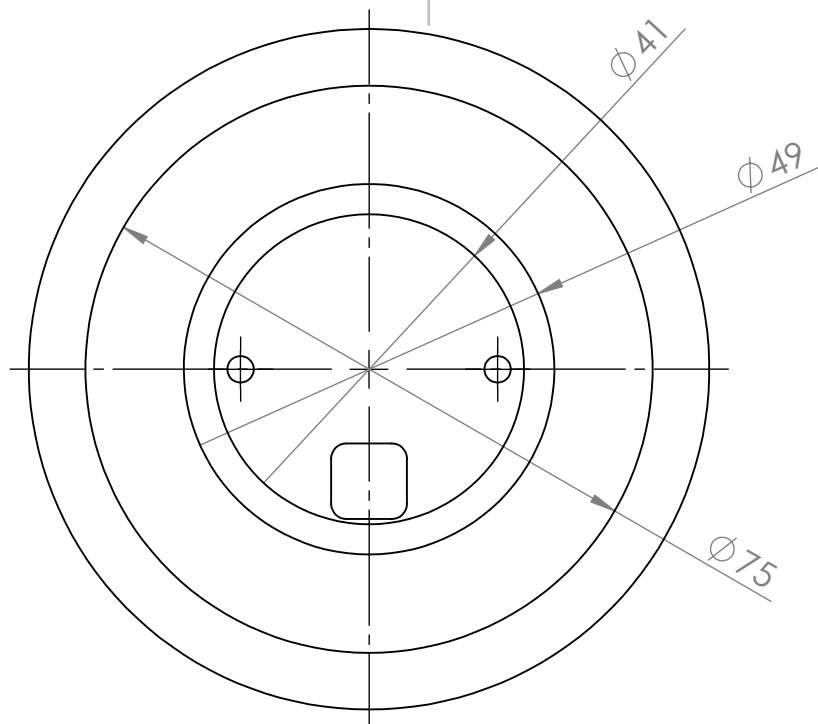
C

B

B

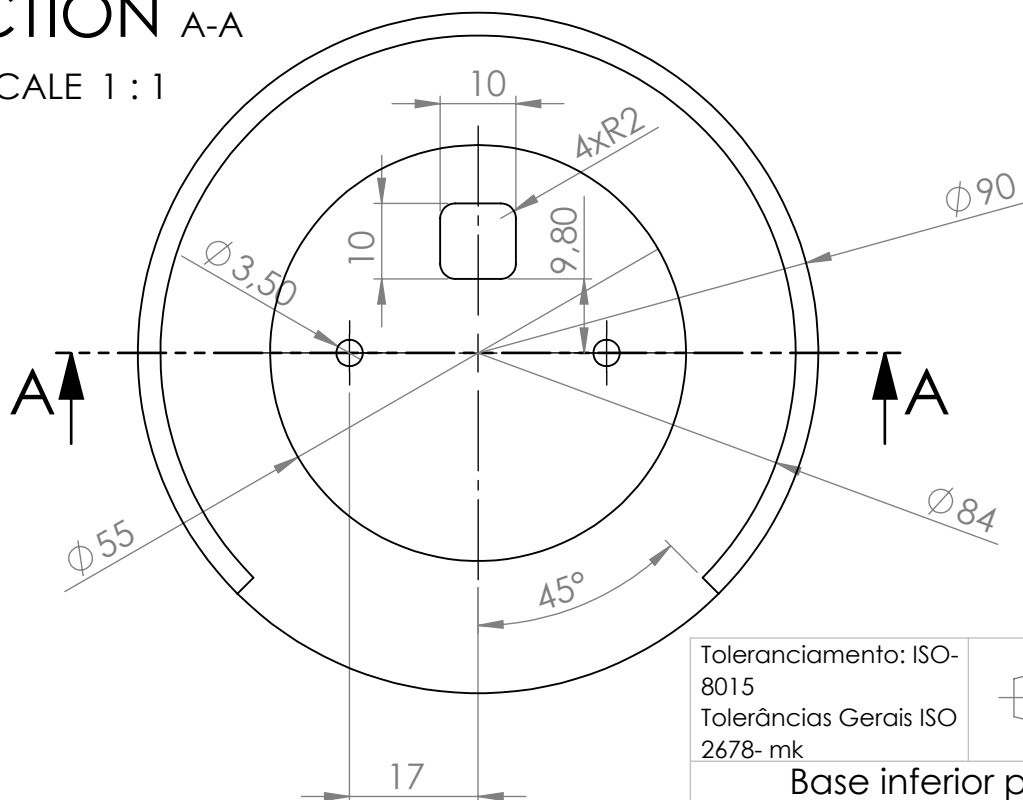
A

A

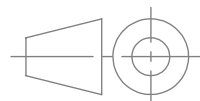


SECTION A-A

SCALE 1 : 1



Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



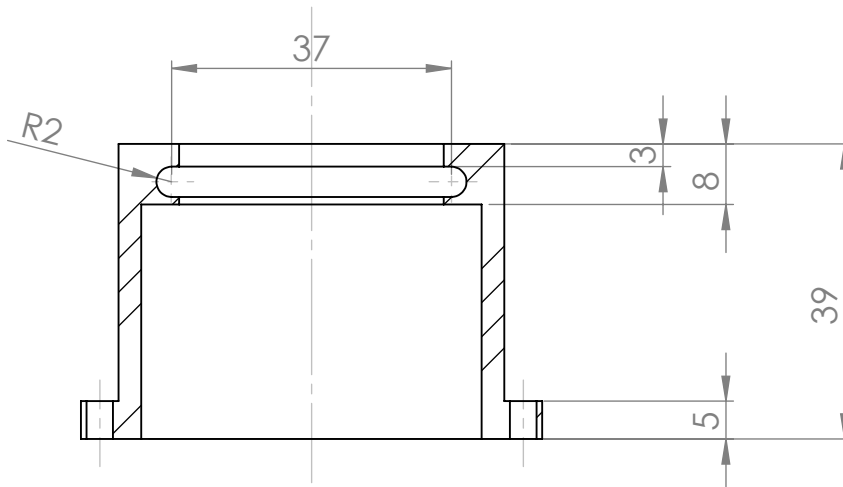
Base inferior prensa

Material
DIN Ck 45
Quantidade: 1

dwg nº
21

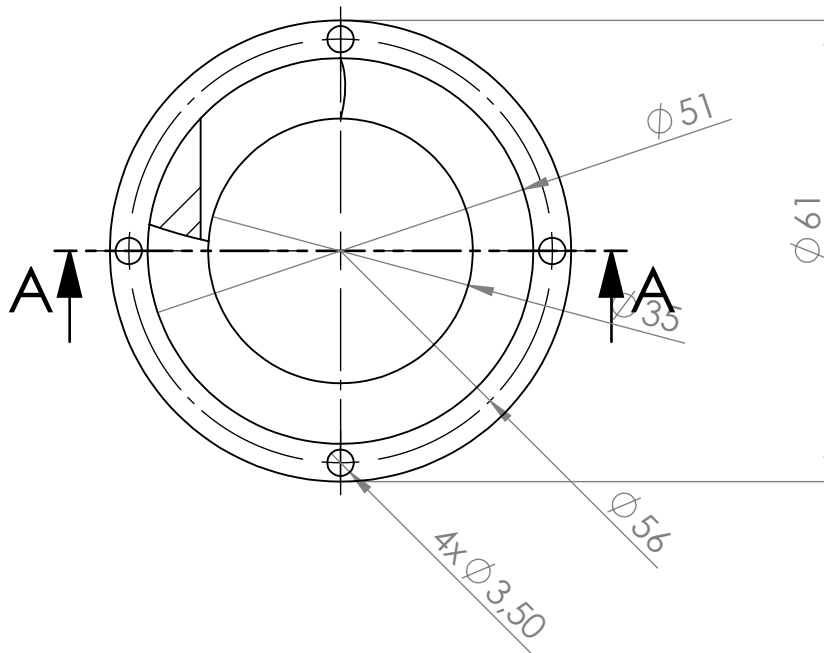
Francisco Felicio

20/09/18

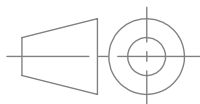


SECTION A-A

SCALE 1 : 1



Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE	QUANTIDADE	MATERIAL
DRAWN Francisco Felicio		5/10/18	1	PC
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:

Compartimento amostra

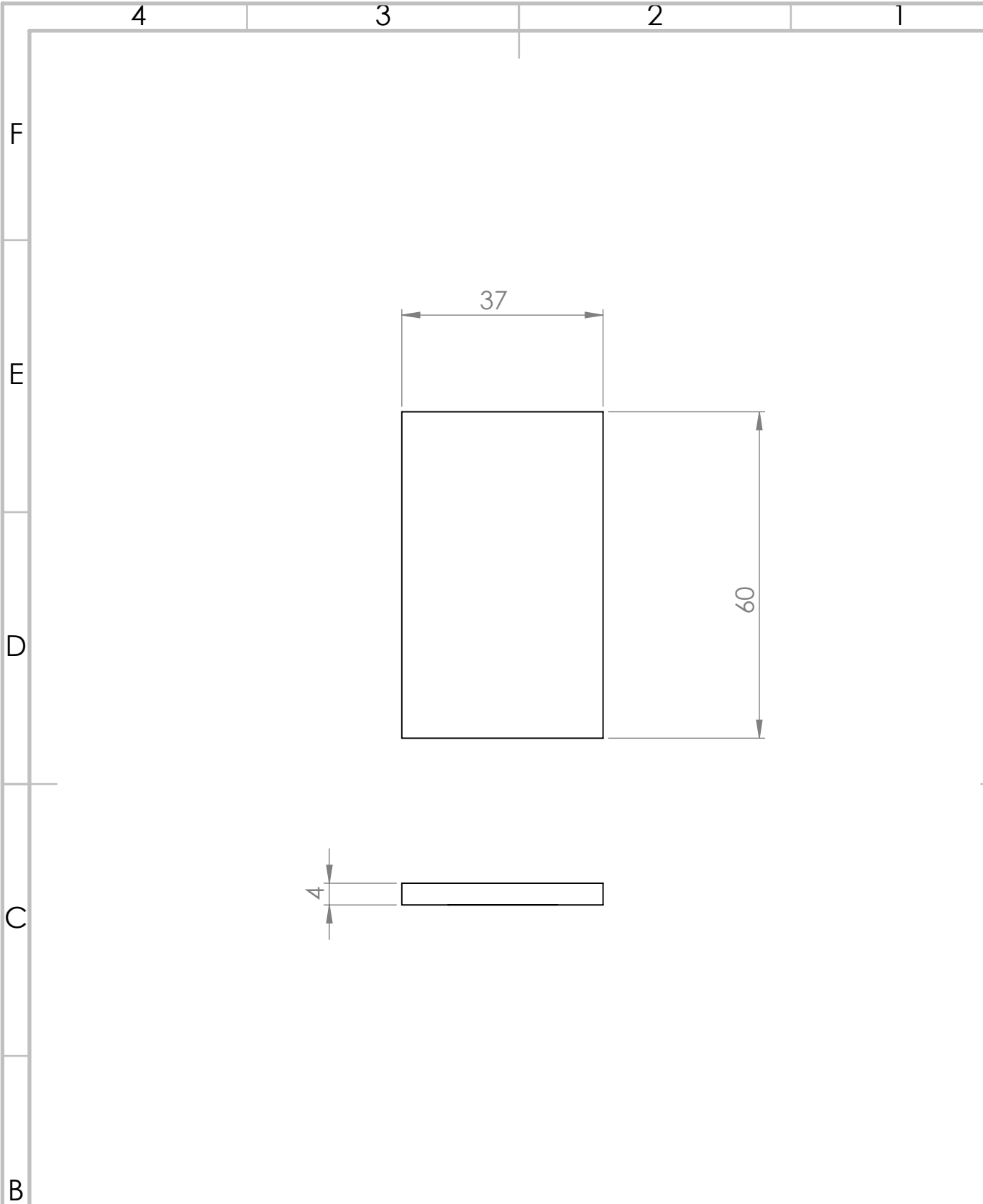
DWG NO.

28

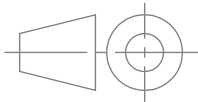
A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	Francisco Felicio		10/10/18			
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A						

Quantidade 1

MATERIAL:

DIN Ck 45

TITLE:

Tampa
Compartimento

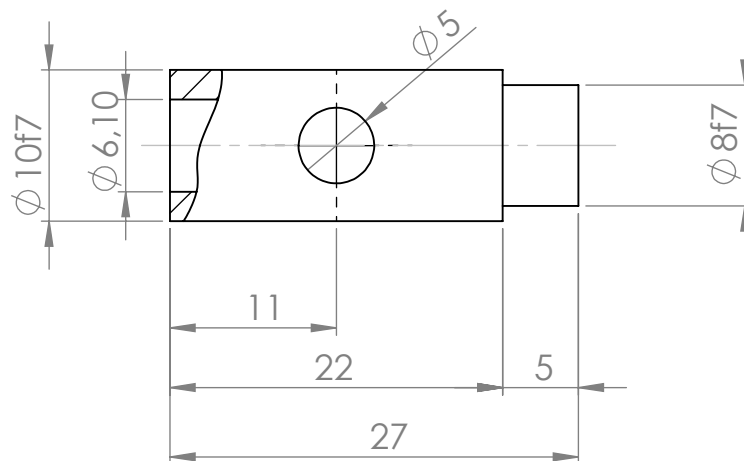
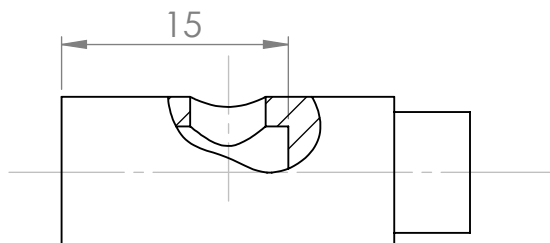
DWG NO.

29

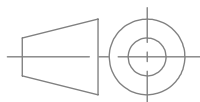
A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



Toleranciamento: ISO-8015
Tolerâncias Gerais ISO 2678- mk



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN Francisco Felicio		10/10/18			
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

Veio pinhão

Quantidade: 1

MATERIAL:
DIN Ck 45

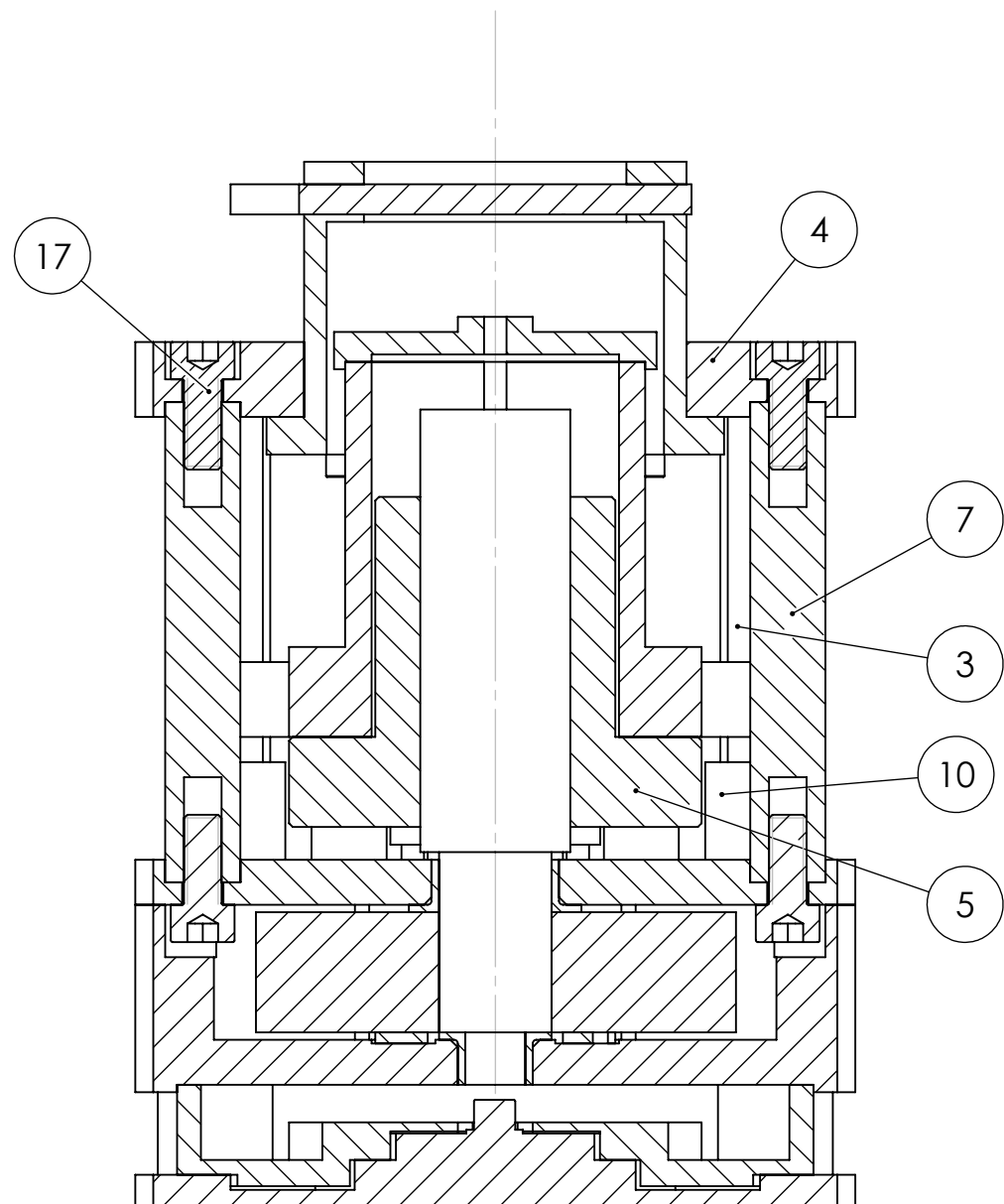
DWG NO.

30

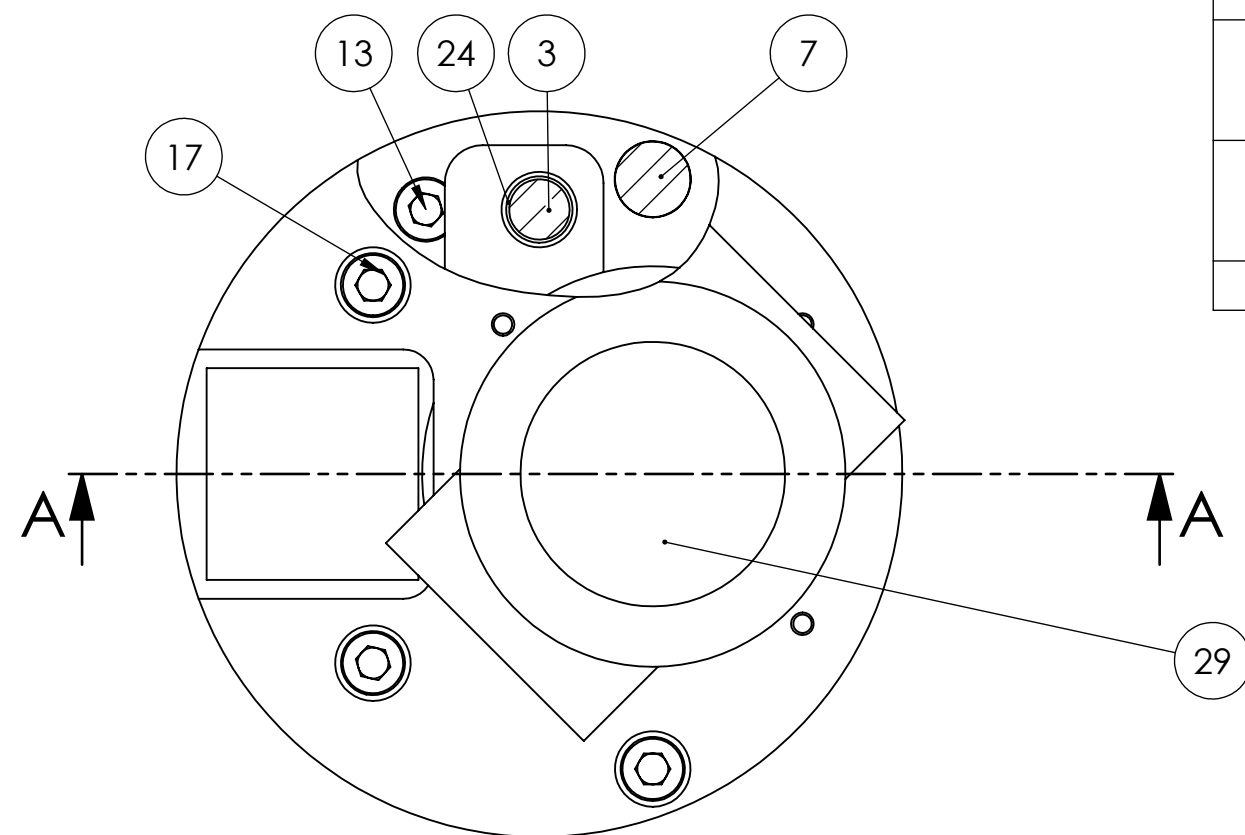
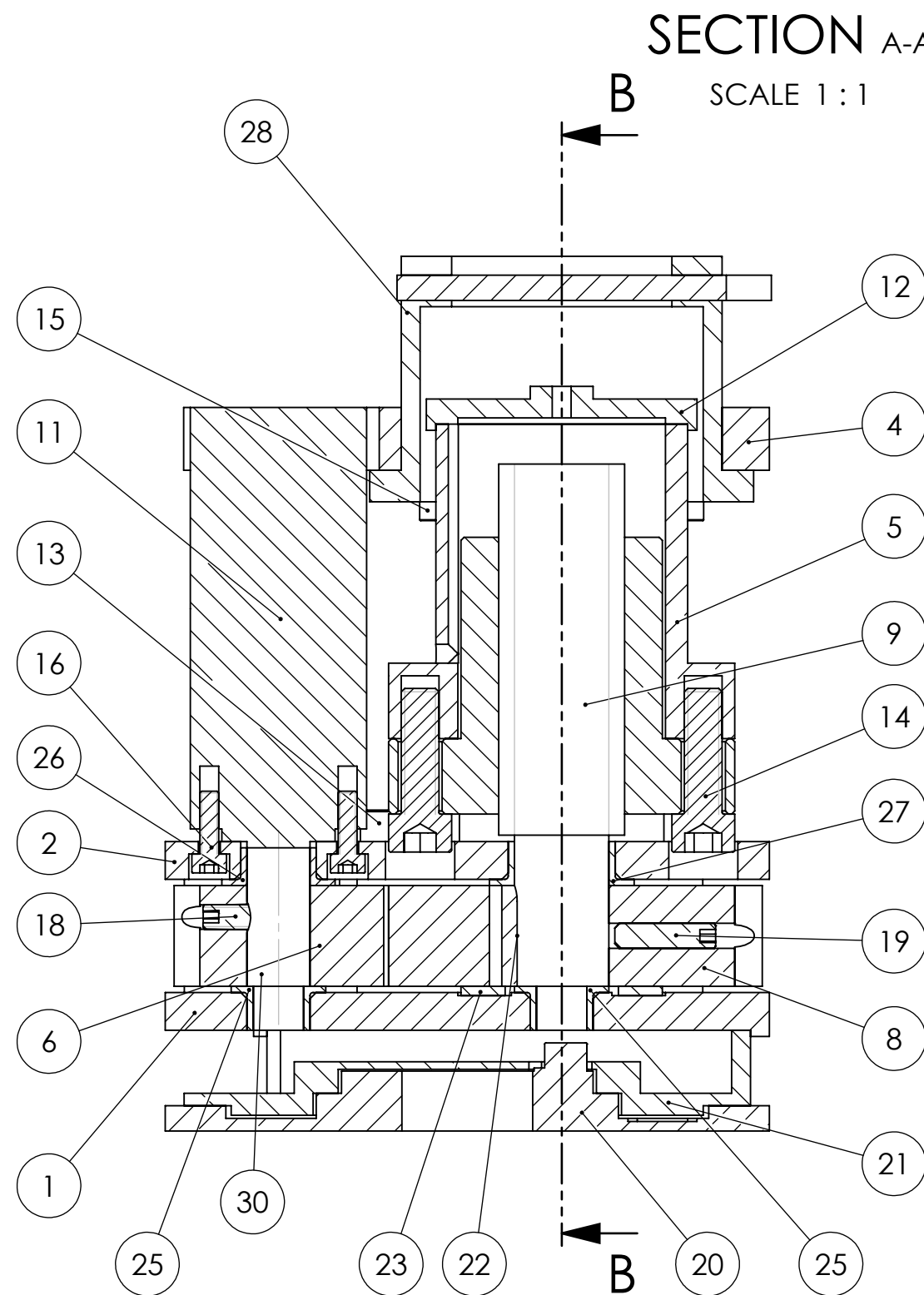
A4

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



SECTION B-B
SCALE 1 : 1



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.	Material
1	Base engrenagens		1	DIN Ck45
2	Base de suporte		1	DIN Ck45
3	Guia W8 h6	Veio rectificado	2	DIN CF53
4	Base do compartimento da amostra		1	DIN Ck45
5	Suporte da porca e da célula de carga		1	DIN Ck45
6	Engrenagem Z:15	Engrenagem	1	DIN Ck45
7	Barra_suporte W10 h6	Veio rectificado	4	DIN CF53
8	Engrenagem Z:30	Engrenagem	1	DIN Ck45
9	Fuso trapezoidal		1	DIN CF 15
10	Batente das guias		2	DIN Ck45
11	Motor: 11HS12-0674D1-PG100		1	
12	Celula de carga		1	DIN Ck45
13	ISO 4762 M5 x 16 - 16C	Parafuso	2	
14	ISO 4762 M6 x 20 - 20C	Parafuso	6	
15	ISO 4762 M3 x 12 - 12C	Parafuso	4	
16	ISO 4762 M3 x 10 - 10C	Parafuso	4	
17	ISO 4762 M5 x 12 - 12N	Parafuso	8	
18	ISO 4026 - M4 x 8-C	Parafuso	1	
19	ISO 4026 - M4 x 16-N	Parafuso	1	
20	Base Skyscan 1275		1	
21	Base inferior prensa		1	DIN Ck45
22	CHAVETA DIN 6885-A 51A-5-5-16	chaveta	1	DIN Ck45
23	PAW 18 P10	Anilha	1	
24	PAP 0810 P10	Casquilho	2	
25	PAF 08075 P10	Casquilho	2	
26	PAF 10070 P10	Casquilho	1	
27	PAF 15090 P10	Casquilho	1	
28	Compartimento da amostra		1	PC
29	Tampa compartimento		1	DIN Ck45
30	Veio do pinhão		1	DIN Ck45

				DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						TITLE: Desenho de conjunto			
						DWG NO. 31			
						SCALE:1:2			
						SHEET 1 OF 1			

DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE				
CHK'D	Francisco Felicio						
APP'VD							
MFG							
Q.A.							
				WEIGHT:			

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

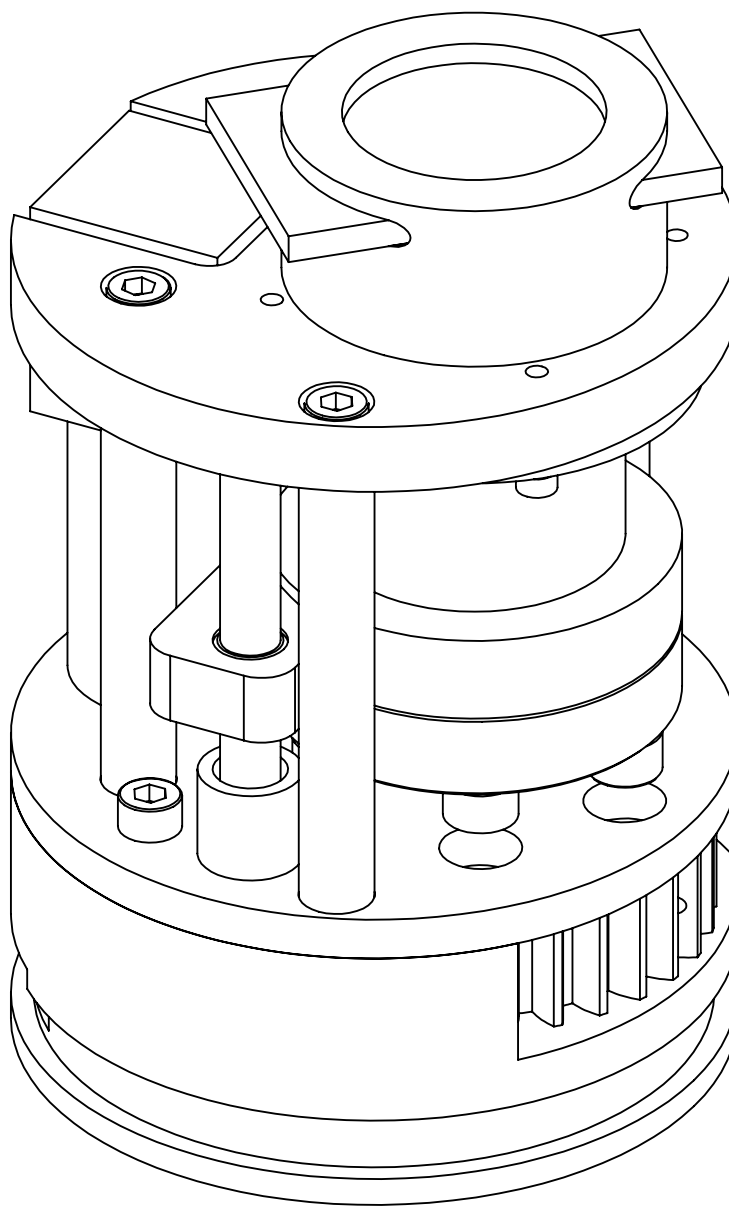
C

B

B

A

A

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	Francisco Felicio		2/12/18		
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

Prespetiva
Isométrica 1

DWG NO.

32

A4

SCALE:1:2

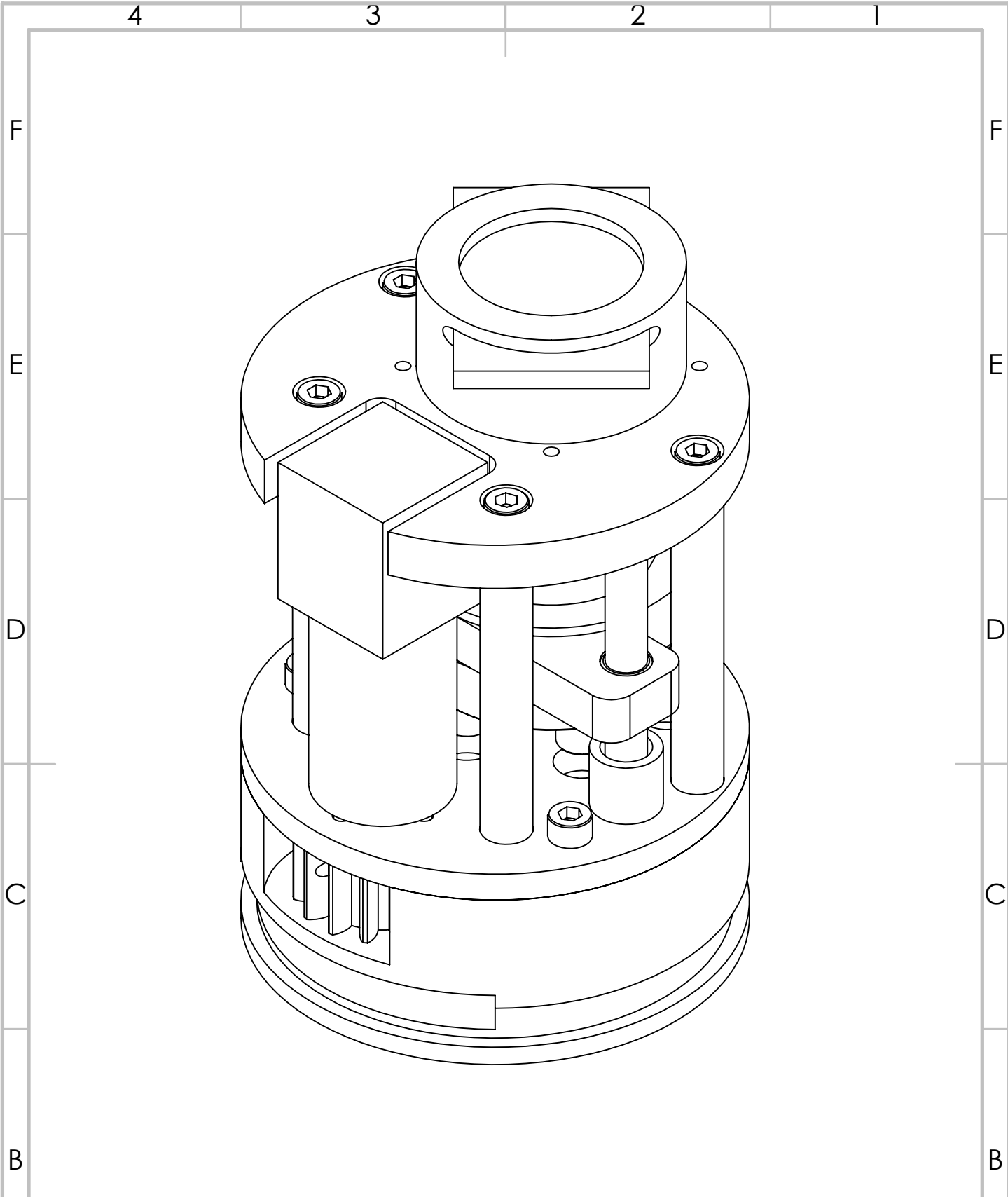
SHEET 1 OF 1

4

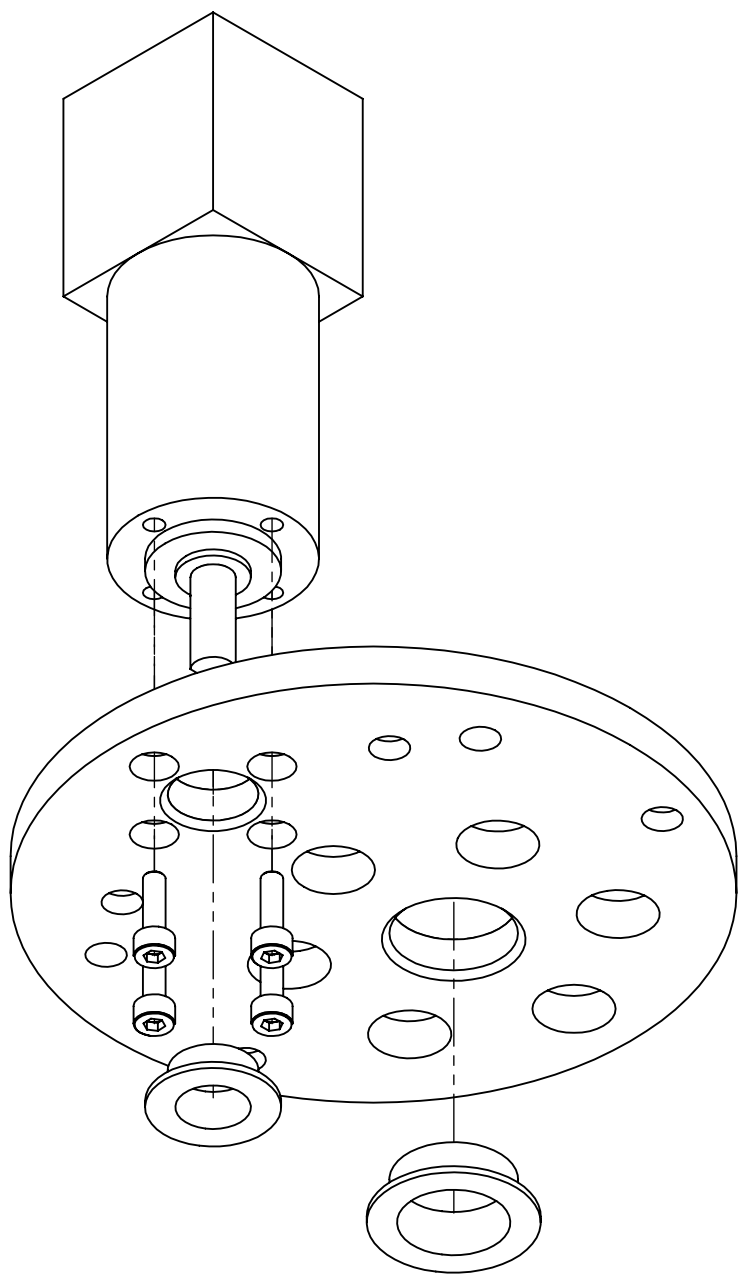
3

2

1



				DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NAME</th> <th>SIGNATURE</th> <th>DATE</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DRAWN</td> <td>Francisco Felicio</td> <td></td> <td>2/12/18</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CHK'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APPV'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MFG</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q.A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							NAME	SIGNATURE	DATE			DRAWN	Francisco Felicio		2/12/18			CHK'D						APPV'D						MFG						Q.A																								TITLE: <h1>Prespetiva Isométrica 2</h1>			
	NAME	SIGNATURE	DATE																																																												
DRAWN	Francisco Felicio		2/12/18																																																												
CHK'D																																																															
APPV'D																																																															
MFG																																																															
Q.A																																																															
MATERIAL:						DWG NO.		A4																																																							
						33																																																									
						SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1																																																							



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	Francisco Felicio		5/01/19			
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A						

TITLE:

Conjunto 1

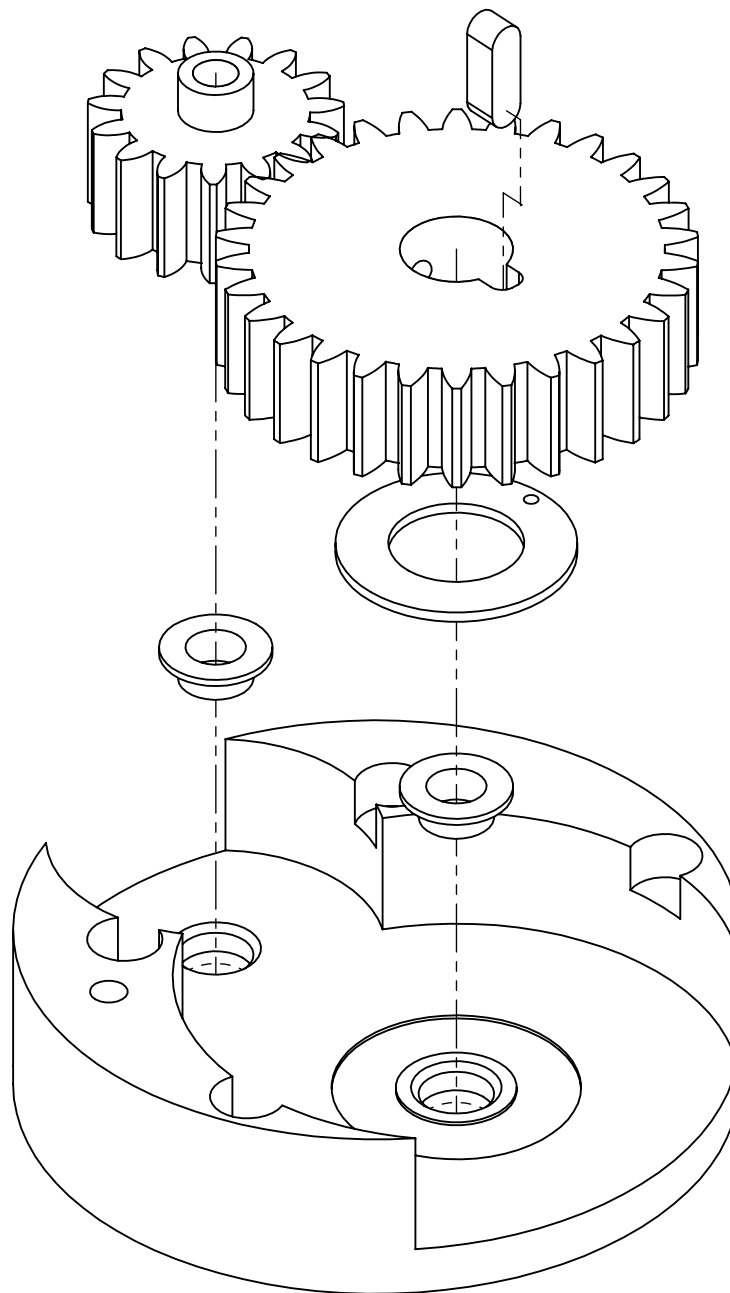
DWG NO.

34

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	Francisco Felicio		5/01/19		
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

Conjunto 2

DWG NO.

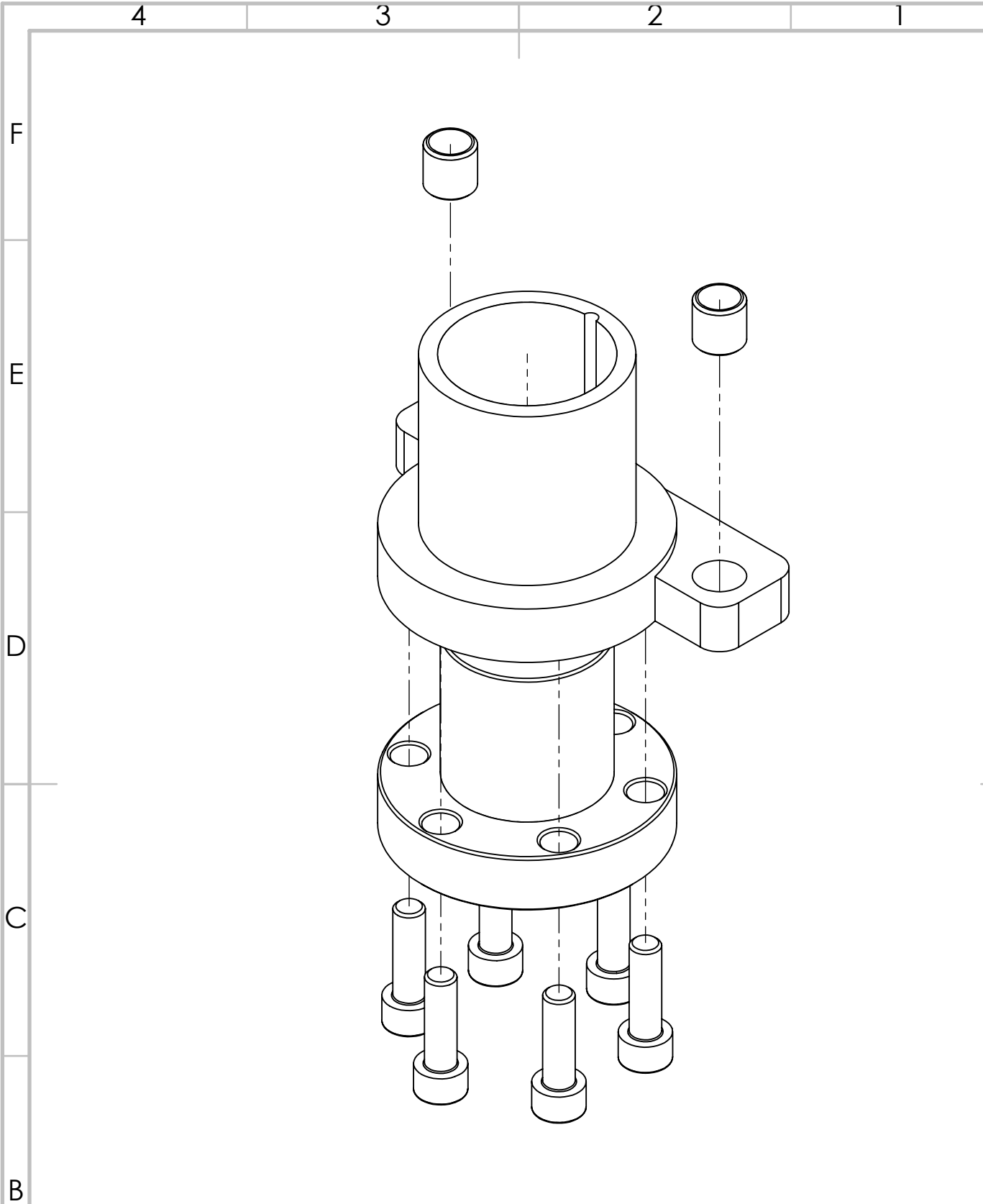
35

A4

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



				DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE: Conjunto 3			
DRAWN Francisco Felicio				5/01/19					
CHK'D						DWG NO. 36			
APPV'D									
MFG						A4			
Q.A									
						SCALE:1:2			
						SHEET 1 OF 1			

4 3 2 1

F

F

E

E

D

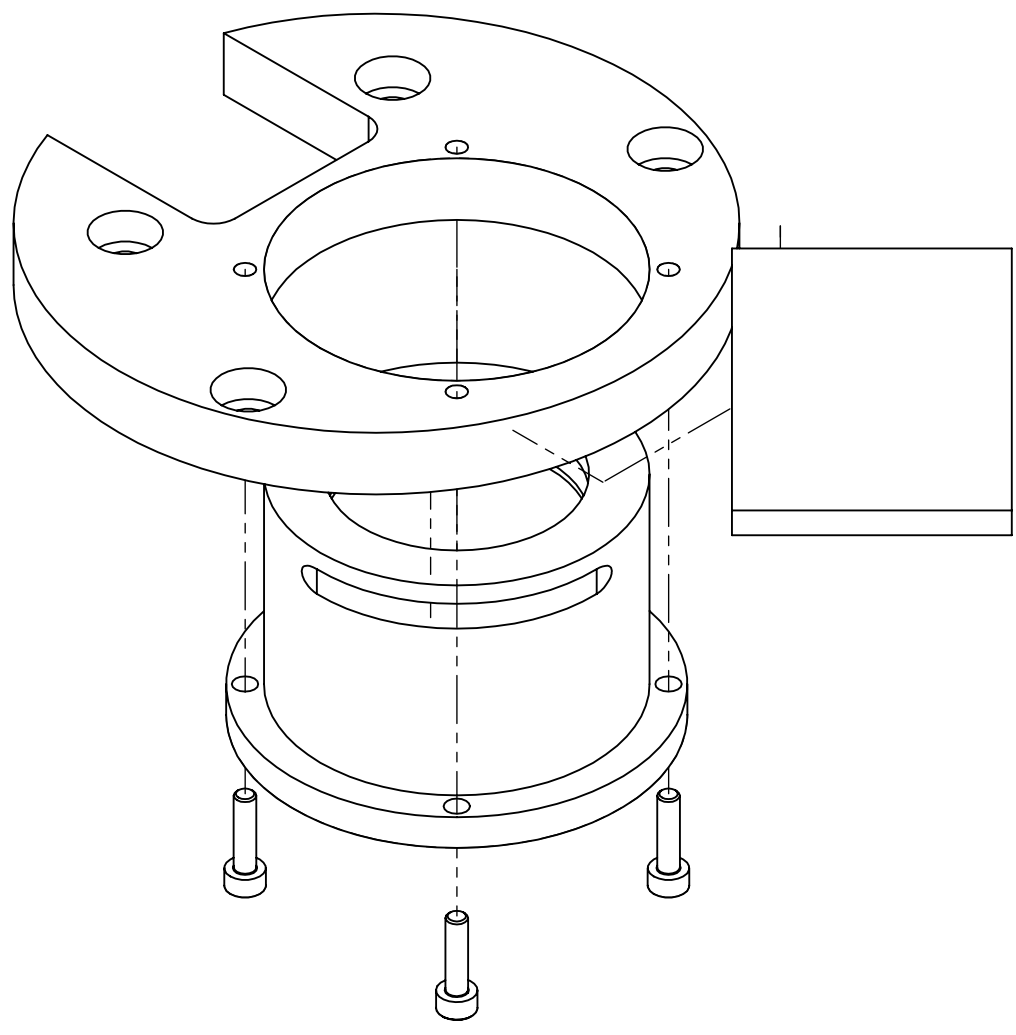
D

C

C

B

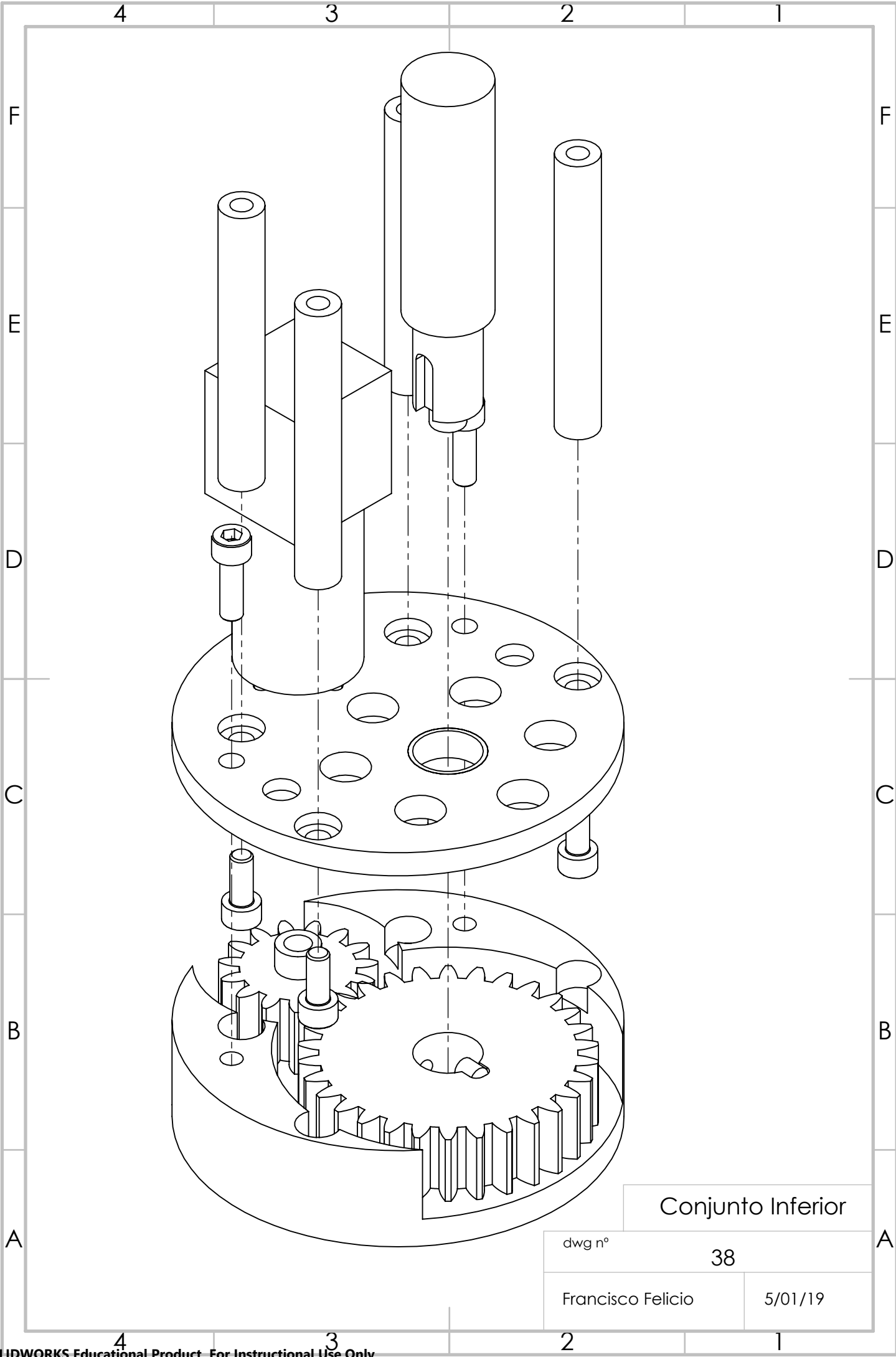
B



				DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN Francisco Felicio				5/01/19		Conjunto 4			
CHK'D									
APPV'D						DWG NO.			
MFG									
Q.A						37			
						A4			
						SCALE:1:5			
						SHEET 1 OF 1			

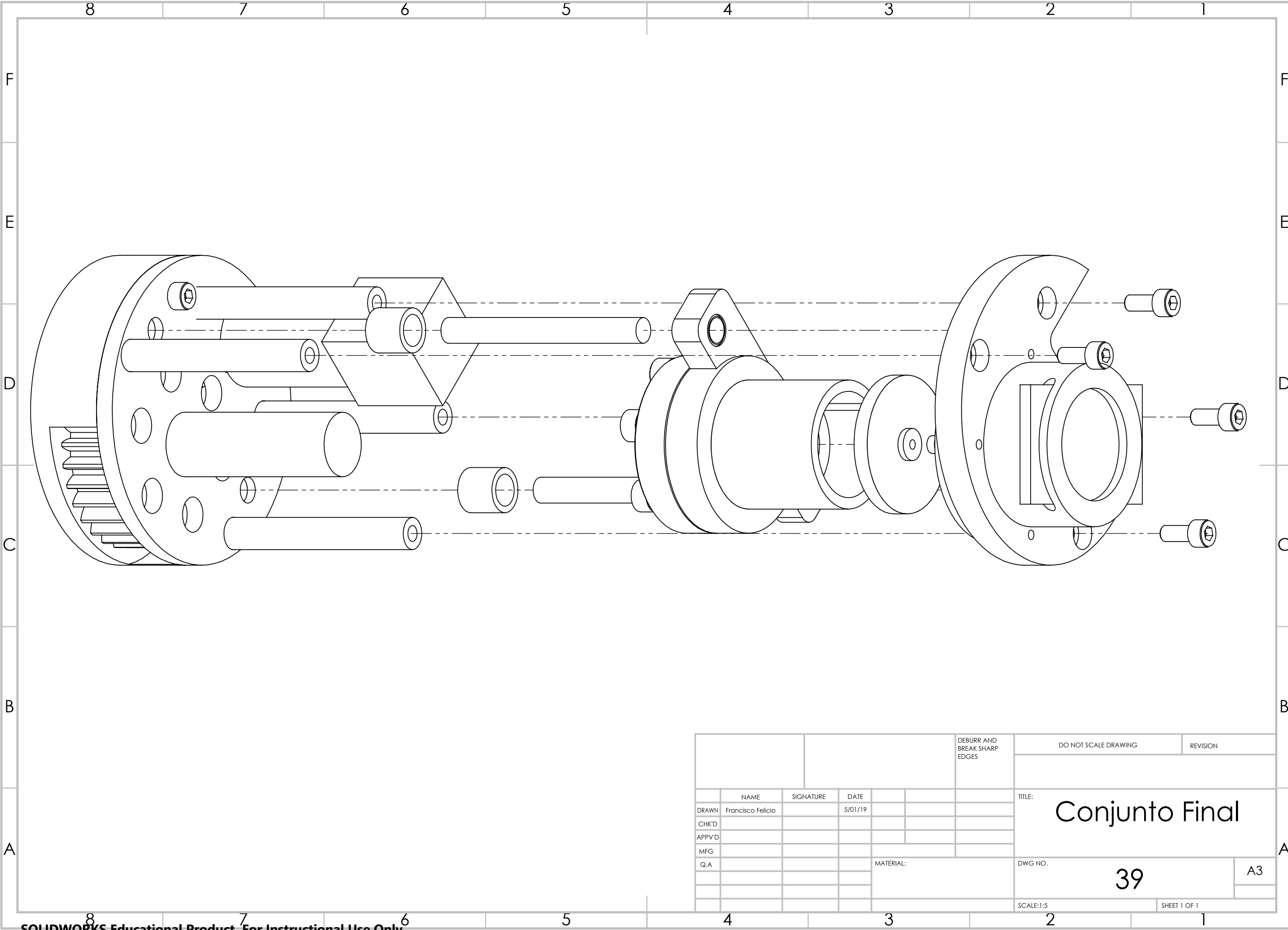
A

4 3 2 1



Conjunto Inferior

dwg nº	38
Francisco Felicio	5/01/19



						DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION				
							TITLE: Conjunto Final						
NAME		SIGNATURE		DATE									
DRAWN	Francisco Felicio				5/01/19								
CHK'D													
APPV'D													
MFG													
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		39		A3	
							SCALE:1:5			SHEET 1 OF 1			

Apêndice C

Datasheet INA125



INA125

INSTRUMENTATION AMPLIFIER With Precision Voltage Reference

FEATURES

- LOW QUIESCENT CURRENT: 460 μ A
- PRECISION VOLTAGE REFERENCE:
1.24V, 2.5V, 5V or 10V
- SLEEP MODE
- LOW OFFSET VOLTAGE: 250 μ V max
- LOW OFFSET DRIFT: 2 μ V/ $^{\circ}$ C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA max
- HIGH CMR: 100dB min
- LOW NOISE: 38nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at f = 1kHz
- INPUT PROTECTION TO ± 40 V
- WIDE SUPPLY RANGE
Single Supply: 2.7V to 36V
Dual Supply: ± 1.35 V to ± 18 V
- 16-PIN DIP AND SO-16 SOIC PACKAGES

DESCRIPTION

The INA125 is a low power, high accuracy instrumentation amplifier with a precision voltage reference. It provides complete bridge excitation and precision differential-input amplification on a single integrated circuit.

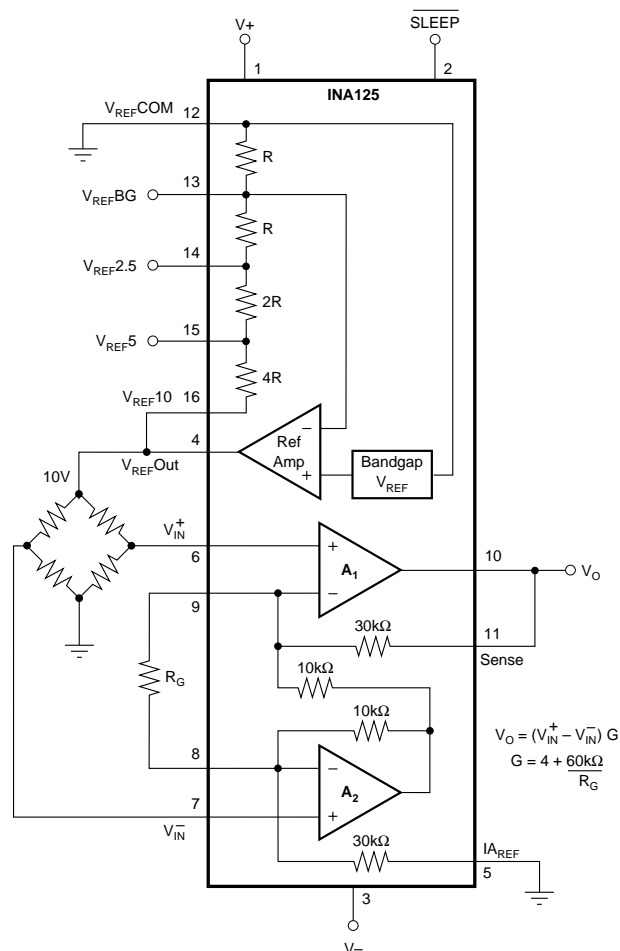
A single external resistor sets any gain from 4 to 10,000. The INA125 is laser-trimmed for low offset voltage (250 μ V), low offset drift (2 μ V/ $^{\circ}$ C), and high common-mode rejection (100dB at G = 100). It operates on single (+2.7V to +36V) or dual (± 1.35 V to ± 18 V) supplies.

The voltage reference is externally adjustable with pin-selectable voltages of 2.5V, 5V, or 10V, allowing use with a variety of transducers. The reference voltage is accurate to $\pm 0.5\%$ (max) with ± 35 ppm/ $^{\circ}$ C drift (max). Sleep mode allows shutdown and duty cycle operation to save power.

The INA125 is available in 16-pin plastic DIP and SO-16 surface-mount packages and is specified for the -40° C to $+85^{\circ}$ C industrial temperature range.

APPLICATIONS

- PRESSURE AND TEMPERATURE BRIDGE AMPLIFIERS
- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL
- FACTORY AUTOMATION
- MULTI-CHANNEL DATA ACQUISITION
- BATTERY OPERATED SYSTEMS
- GENERAL PURPOSE INSTRUMENTATION



SPECIFICATIONS: $V_S = \pm 15V$

At $T_A = +25^\circ C$, $V_S = \pm 15V$, I_A common = 0V, V_{REF} common = 0V, and $R_L = 10k\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA125P, U			INA125PA, UA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT								
Offset Voltage, RTI	$V_S = \pm 1.35V$ to $\pm 18V$, $G = 4$		± 50	± 250		*	± 500	μV
Initial			± 0.25	± 2		*	± 5	$\mu V/^\circ C$
vs Temperature			± 3	± 20		*	± 50	$\mu V/V$
vs Power Supply			± 0.2			*		$\mu V/mo$
Long-Term Stability			$10^{11} \parallel 2$			*		$\Omega \parallel pF$
Impedance, Differential	$V_{CM} = -10.7V$ to $+10.2V$		$10^{11} \parallel 9$			*		$\Omega \parallel pF$
Common-Mode			See Text	± 40		*	*	V
Safe Input Voltage								
Input Voltage Range								
Common-Mode Rejection								
	$G = 4$	78	84		72	*		dB
	$G = 10$	86	94		80	*		dB
	$G = 100$	100	114		90	*		dB
	$G = 500$	100	114		90	*		dB
BIAS CURRENT	$V_{CM} = 0V$		10	25		*	50	nA
vs Temperature			± 60			*		$pA/^\circ C$
Offset Current			± 0.5	± 2.5		*	± 5	nA
vs Temperature			± 0.5			*		$pA/^\circ C$
NOISE, RTI	$R_S = 0\Omega$							
Voltage Noise, $f = 10Hz$			40			*		nV/\sqrt{Hz}
$f = 100Hz$			38			*		nV/\sqrt{Hz}
$f = 1kHz$			38			*		nV/\sqrt{Hz}
$f = 0.1Hz$ to $10Hz$			0.8			*		$\mu Vp-p$
Current Noise, $f = 10Hz$			170			*		fA/\sqrt{Hz}
$f = 1kHz$			56			*		fA/\sqrt{Hz}
$f = 0.1Hz$ to $10Hz$			5			*		$pAp-p$
GAIN								
Gain Equation	$V_O = -14V$ to $+13.3V$	4	$4 + 60k\Omega/R_G$	10,000	*	*	*	V/V
Range of Gain								V/V
Gain Error			± 0.01	± 0.075		*	± 0.1	%
			± 0.03	± 0.3		*	± 0.5	%
			± 0.05	± 0.5		*	± 1	%
Gain vs Temperature	$G = 500$		± 0.1			*		%
	$G = 4$		± 1	± 15		*	*	$ppm/^\circ C$
	$G > 4^{(1)}$		± 25	± 100		*	*	$ppm/^\circ C$
Nonlinearity	$V_O = -14V$ to $+13.3V$							
			± 0.0004	± 0.002		*	± 0.004	% of FS
			± 0.0004	± 0.002		*	± 0.004	% of FS
			± 0.001	± 0.01		*	*	% of FS
			± 0.002			*		% of FS
OUTPUT								
Voltage: Positive		$(V+) - 1.7$	$(V+) - 0.9$		*	*		V
Negative		$(V-) + 1$	$(V-) + 0.4$		*	*		V
Load Capacitance Stability			1000			*		pF
Short-Circuit Current			$-9/+12$			*		mA
VOLTAGE REFERENCE	$V_{REF} = +2.5V, +5V, +10V$							
Accuracy	$I_L = 0$		± 0.15	± 0.5		*	± 1	%
vs Temperature	$I_L = 0$		± 18	± 35		*	± 100	$ppm/^\circ C$
vs Power Supply, $V+$	$V+ = (V_{REF} + 1.25V)$ to $+36V$		± 20	± 50		*	± 100	ppm/V
vs Load	$I_L = 0$ to $5mA$		3	75		*	*	ppm/mA
Dropout Voltage, $(V+) - V_{REF}^{(2)}$	Ref Load = $2k\Omega$	1.25	1		*	*		V
Bandgap Voltage Reference			1.24			*		V
Accuracy	$I_L = 0$		± 0.5			*		%
vs Temperature	$I_L = 0$		± 18			*		$ppm/^\circ C$

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

SPECIFICATIONS: $V_S = \pm 15V$ (CONT)

At $T_A = +25^\circ C$, $V_S = \pm 15V$, I_A common = 0V, V_{REF} common = 0V, and $R_L = 10k\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER CONDITIONS		INA125P, U			INA125PA, UA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
FREQUENCY RESPONSE Bandwidth, -3dB	$G = 4$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 500$		150 45 4.5 0.9			* * * *		kHz kHz kHz kHz
Slew Rate	$G = 4$, 10V Step		0.2			*		V/ μs
Settling Time, 0.01%	$G = 4$, 10V Step $G = 10$, 10V Step $G = 100$, 10V Step $G = 500$, 10V Step		60 83 375 1700			* * * *		μs μs μs μs
Overload Recovery	50% Overdrive		5			*		μs
POWER SUPPLY Specified Operating Voltage Specified Voltage Range Quiescent Current, Positive Negative Reference Ground Current ⁽³⁾ Sleep Current ($V_{SLEEP} \leq 100mV$)	$I_O = I_{REF} = 0mA$ $I_O = I_{REF} = 0mA$ $R_L = 10k\Omega$, Ref Load = 2k Ω	± 1.35	± 15 460 -280 180 ± 1	± 18 525 -325 180 ± 25	*	* * * * *	* * * * *	V V μA μA μA μA
SLEEP MODE PIN⁽⁴⁾ V_{IH} (Logic high input voltage) V_{IL} (Logic low input voltage) I_{IH} (Logic high input current) I_{IL} (Logic low input current) Wake-up Time ⁽⁵⁾		+2.7 0	15 0 150	V+ +0.1	* *	 * * *	* * * *	V V μA μA μs
TEMPERATURE RANGE Specification Range Operation Range Storage Range Thermal Resistance, θ_{JA} 16-Pin DIP SO-16 Surface-Mount		-40 -55 -55		+85 +125 +125	* * *	 * *	* * *	$^\circ C$ $^\circ C$ $^\circ C$ $^\circ C/W$ $^\circ C/W$

* Specification same as INA125P, U.

NOTES: (1) Temperature coefficient of the "Internal Resistor" in the gain equation. Does not include TCR of gain-setting resistor, R_G . (2) Dropout voltage is the positive supply voltage minus the reference voltage that produces a 1% decrease in reference voltage. (3) V_{REFCOM} pin. (4) Voltage measured with respect to Reference Common. Logic low input selects Sleep mode. (5) I_A and Reference, see Typical Performance Curves.

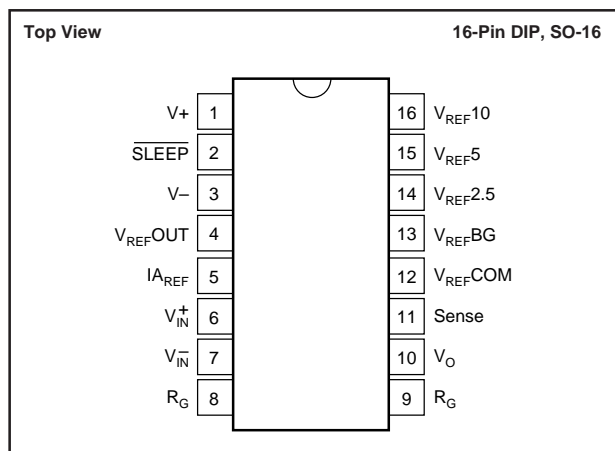
SPECIFICATIONS: $V_S = +5V$

At $T_A = +25^\circ C$, $V_S = +5V$, I_A common at $V_S/2$, V_{REF} common = $V_S/2$, $V_{CM} = V_S/2$, and $R_L = 10k\Omega$ to $V_S/2$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA125P, U			INA125PA, UA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT Offset Voltage, RTI Initial vs Temperature vs Power Supply Input Voltage Range Common-Mode Rejection	$V_S = +2.7V$ to +36V $V_{CM} = +1.1V$ to +3.6V $G = 4$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 500$		± 75 ± 0.25 3 See Text	± 500 20		* * * *	± 750 50	μV $\mu V/^\circ C$ $\mu V/V$
		78 86 100 100	84 94 114 114		72 80 90 90	* * * *		dB dB dB dB
GAIN Gain Error	$V_O = +0.3V$ to +3.8V $G = 4$		± 0.01			*		%
OUTPUT Voltage, Positive Negative		(V+)-1.2 (V-)+0.3	(V+)-0.8 (V-)+0.15		* *	* *		V V
POWER SUPPLY Specified Operating Voltage Operating Voltage Range Quiescent Current Sleep Current ($V_{SLEEP} \leq 100mV$)	$I_O = I_{REF} = 0mA$ $R_L = 10k\Omega$, Ref Load = 2k Ω	+2.7	+5 460 ± 1	+36 525 ± 25	*	* * *	* * *	V V μA μA

* Specification same as INA125P, U.

PIN CONFIGURATION



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Power Supply Voltage, V+ to V-	36V
Input Signal Voltage	±40V
Output Short Circuit	Continuous
Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

NOTE: Stresses above these ratings may cause permanent damage.

PACKAGE INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER ⁽¹⁾
INA125PA	16-Pin Plastic DIP	180
INA125P	16-Pin Plastic DIP	180
INA125UA	SO-16 Surface-Mount	265
INA125U	SO-16 Surface-Mount	265

NOTES: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.



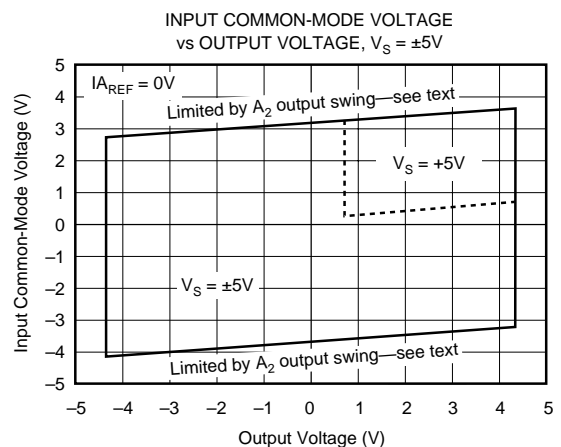
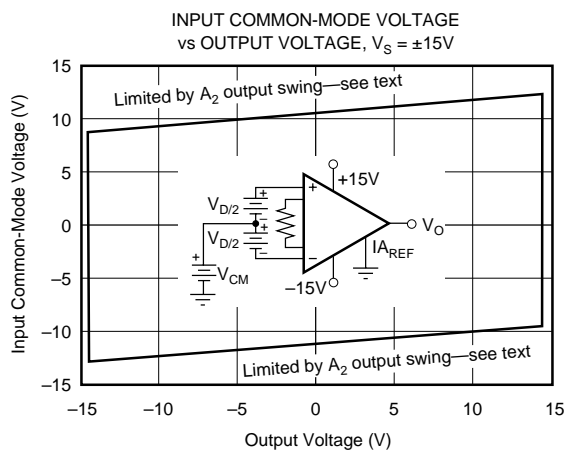
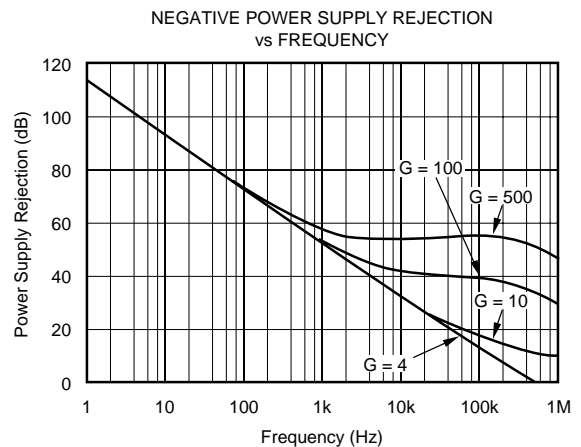
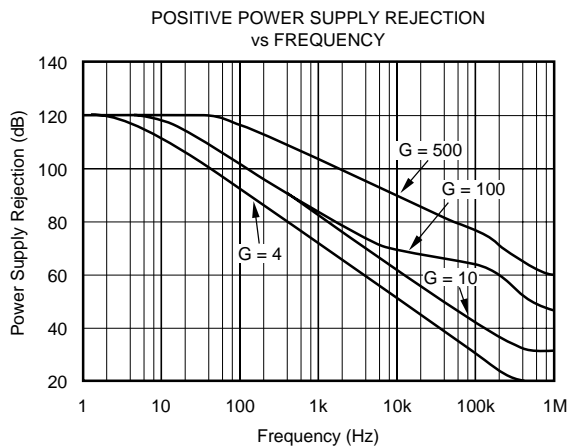
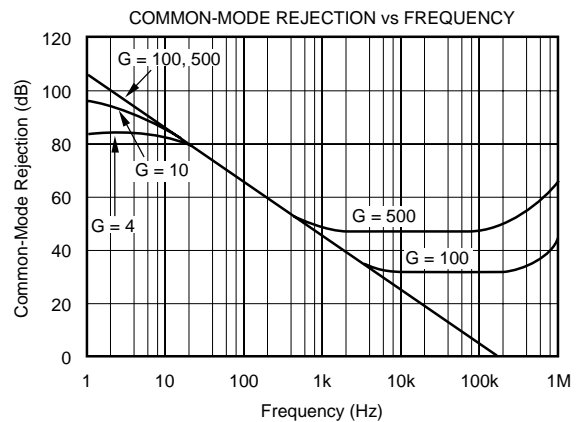
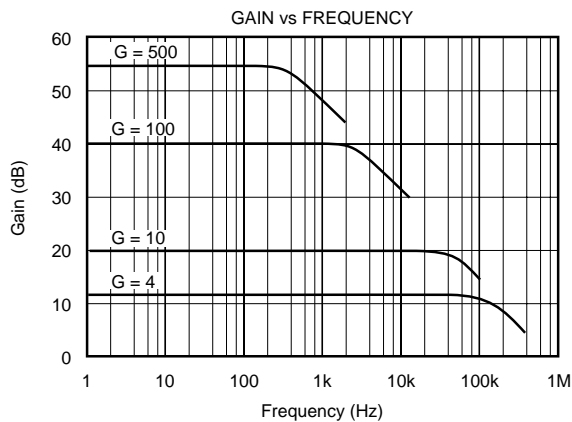
ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

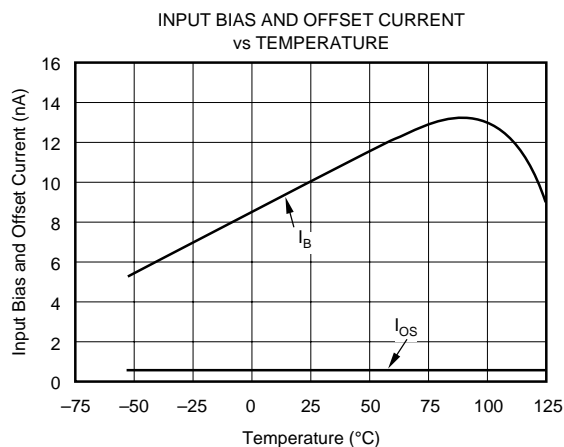
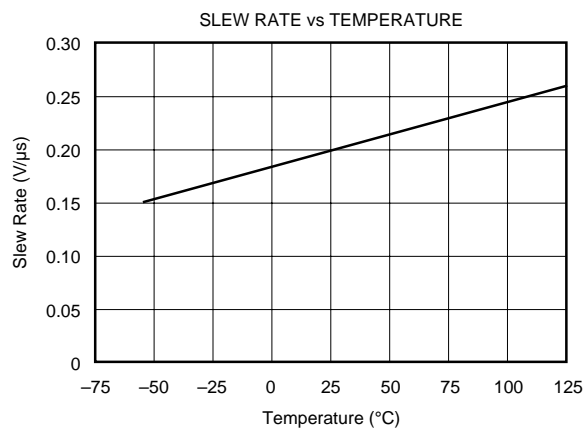
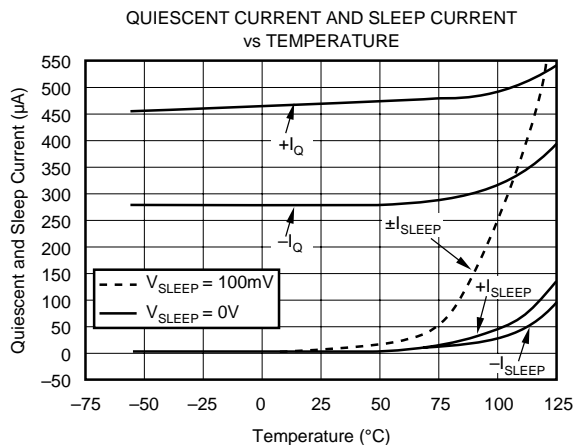
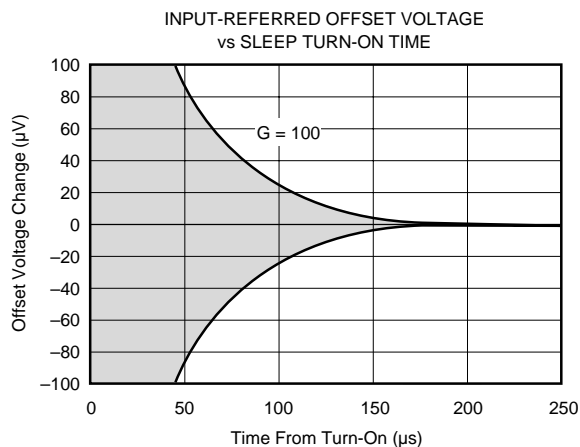
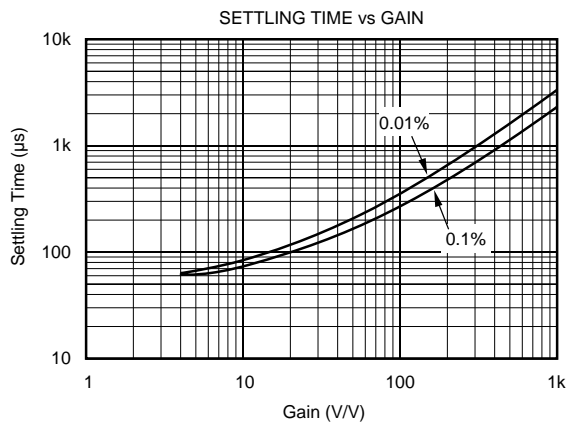
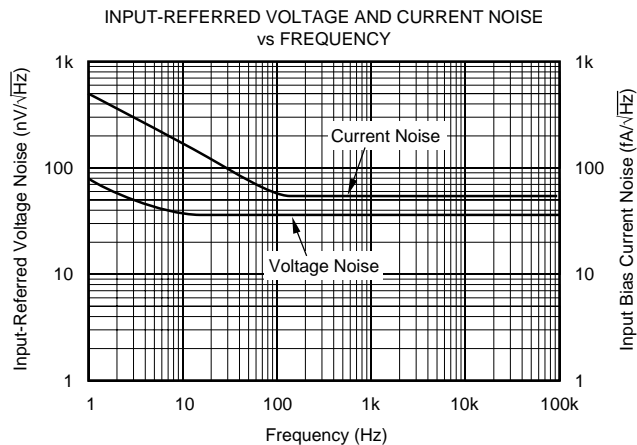
TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.



TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

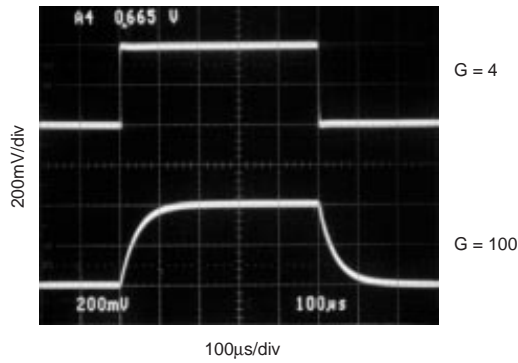
At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.



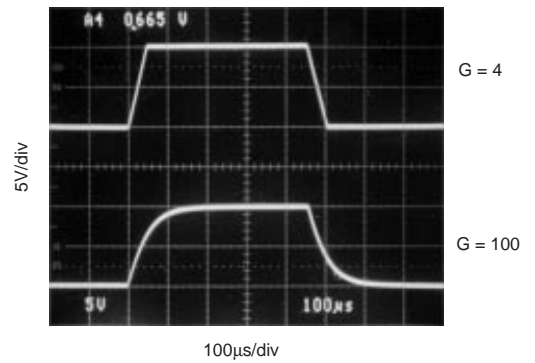
TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.

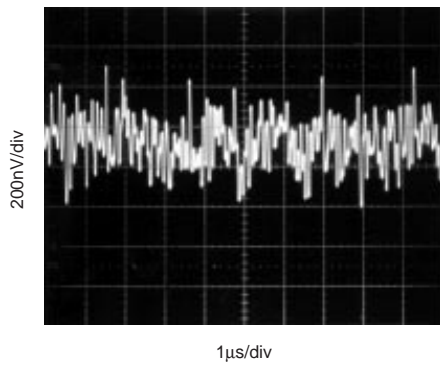
SMALL-SIGNAL RESPONSE



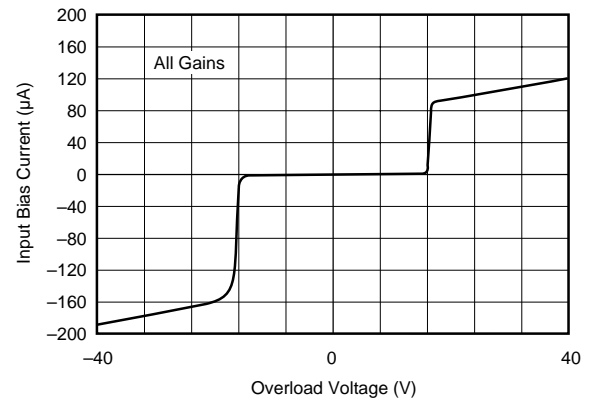
LARGE-SIGNAL RESPONSE



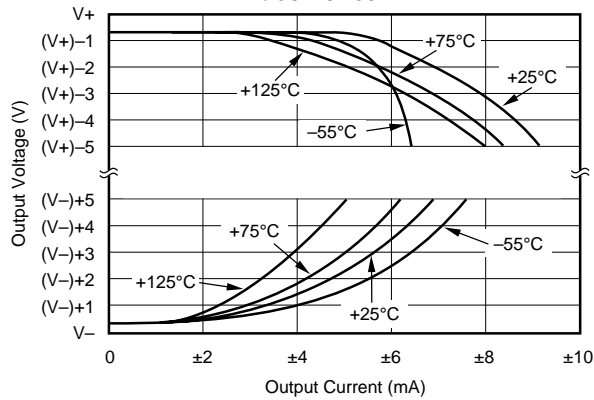
INPUT-REFERRED NOISE, 0.1Hz to 10Hz



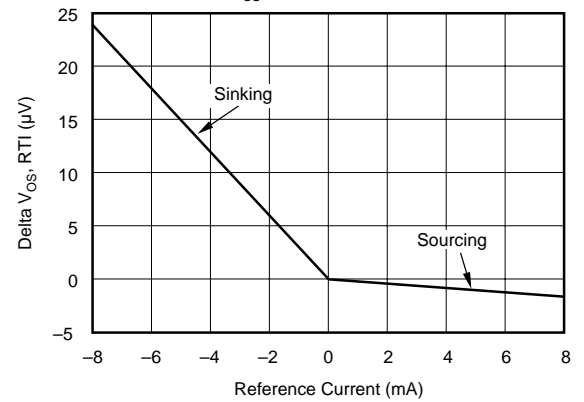
INPUT BIAS CURRENT
vs INPUT OVERLOAD VOLTAGE



OUTPUT VOLTAGE SWING
vs OUTPUT CURRENT

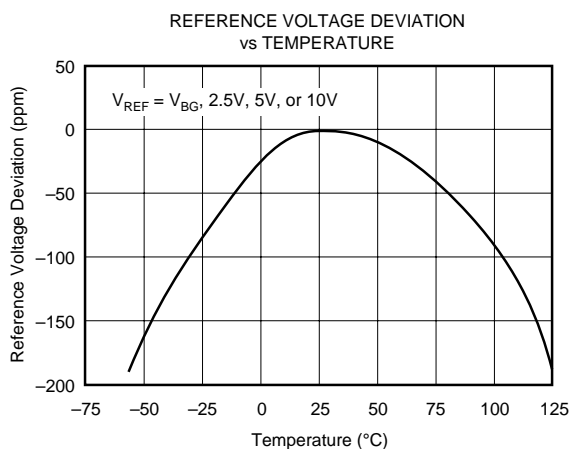
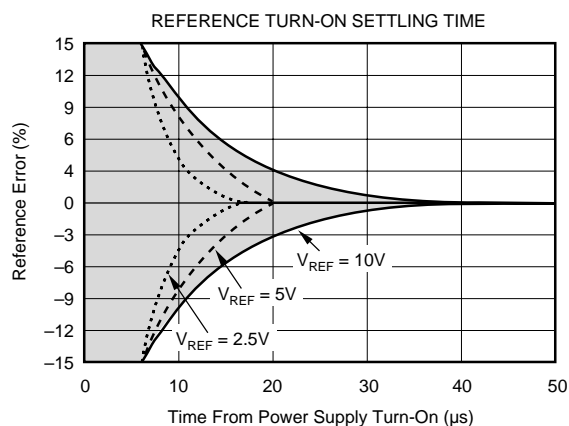
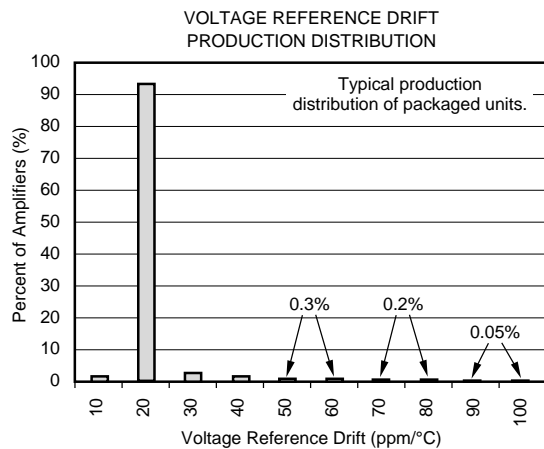
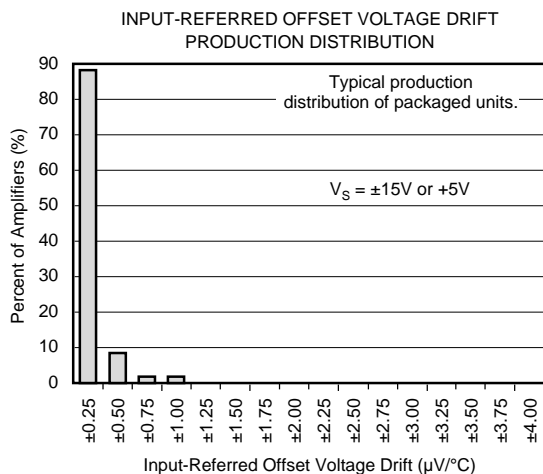
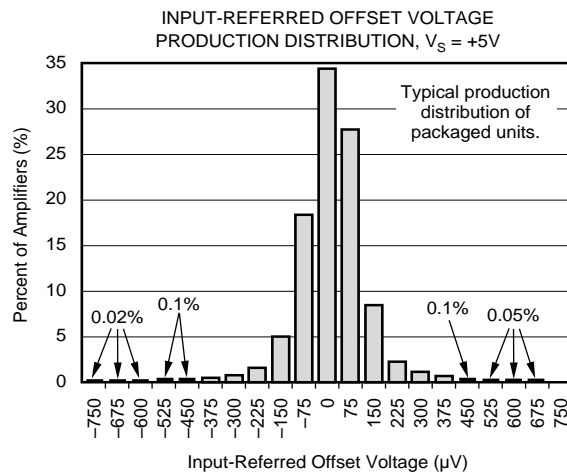
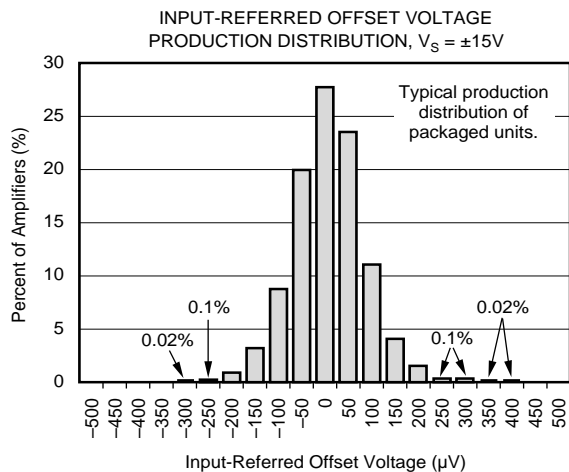


DELTA V_{OS} vs REFERENCE CURRENT



TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

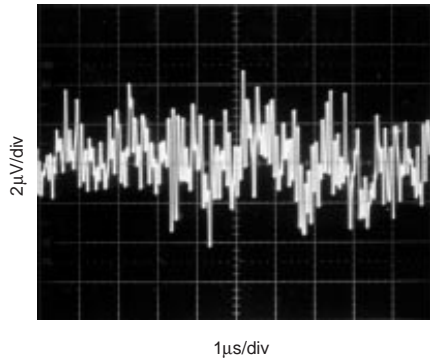
At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.



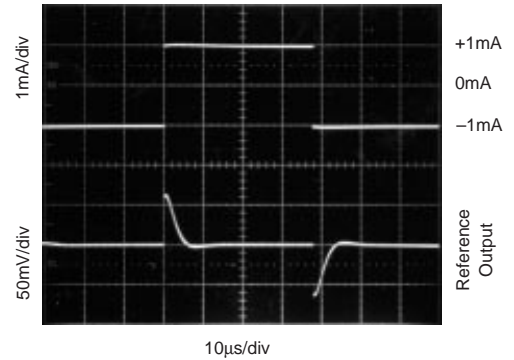
TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.

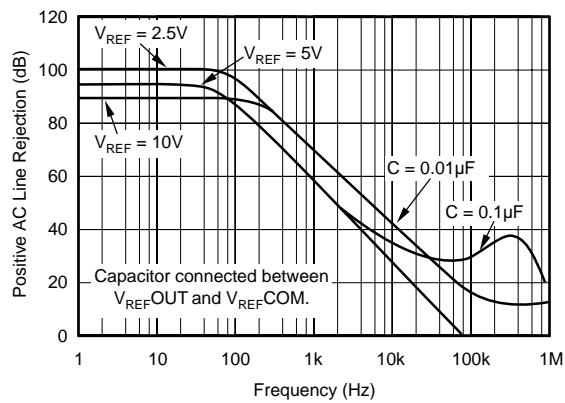
0.1Hz to 10Hz REFERENCE NOISE
 $V_{REF} = 2.5\text{V}$, $C_L = 100\text{pF}$



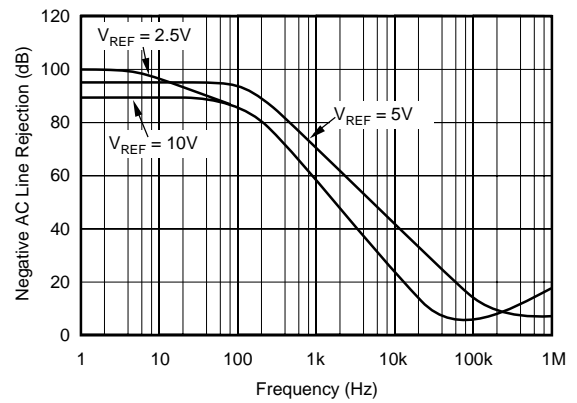
REFERENCE TRANSIENT RESPONSE
 $V_{REF} = 2.5\text{V}$, $C_L = 100\text{pF}$



POSITIVE REFERENCE AC LINE REJECTION
vs FREQUENCY



NEGATIVE REFERENCE AC LINE REJECTION
vs FREQUENCY



APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA125. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the instrumentation amplifier reference (I_{A_REF}) terminal which is normally grounded. This must be a low impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of 12Ω in series with the I_{A_REF} pin will cause a typical device to degrade to approximately 80dB CMR ($G = 4$).

Connecting V_{REF_OUT} (pin 4) to one of the four available reference voltage pins (V_{REF_BG} , $V_{REF_2.5}$, V_{REF_5} , or V_{REF_10}) provides an accurate voltage source for bridge applications.

For example, in Figure 1 V_{REF_OUT} is connected to V_{REF_10} thus supplying 10V to the bridge. It is recommended that V_{REF_OUT} be connected to one of the reference voltage pins even when the reference is not being utilized to avoid saturating the reference amplifier. Driving the $SLEEP$ pin LOW puts the INA125 in a shutdown mode.

SETTING THE GAIN

Gain of the INA125 is set by connecting a single external resistor, R_G , between pins 8 and 9:

$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

Commonly used gains and R_G resistor values are shown in Figure 1.

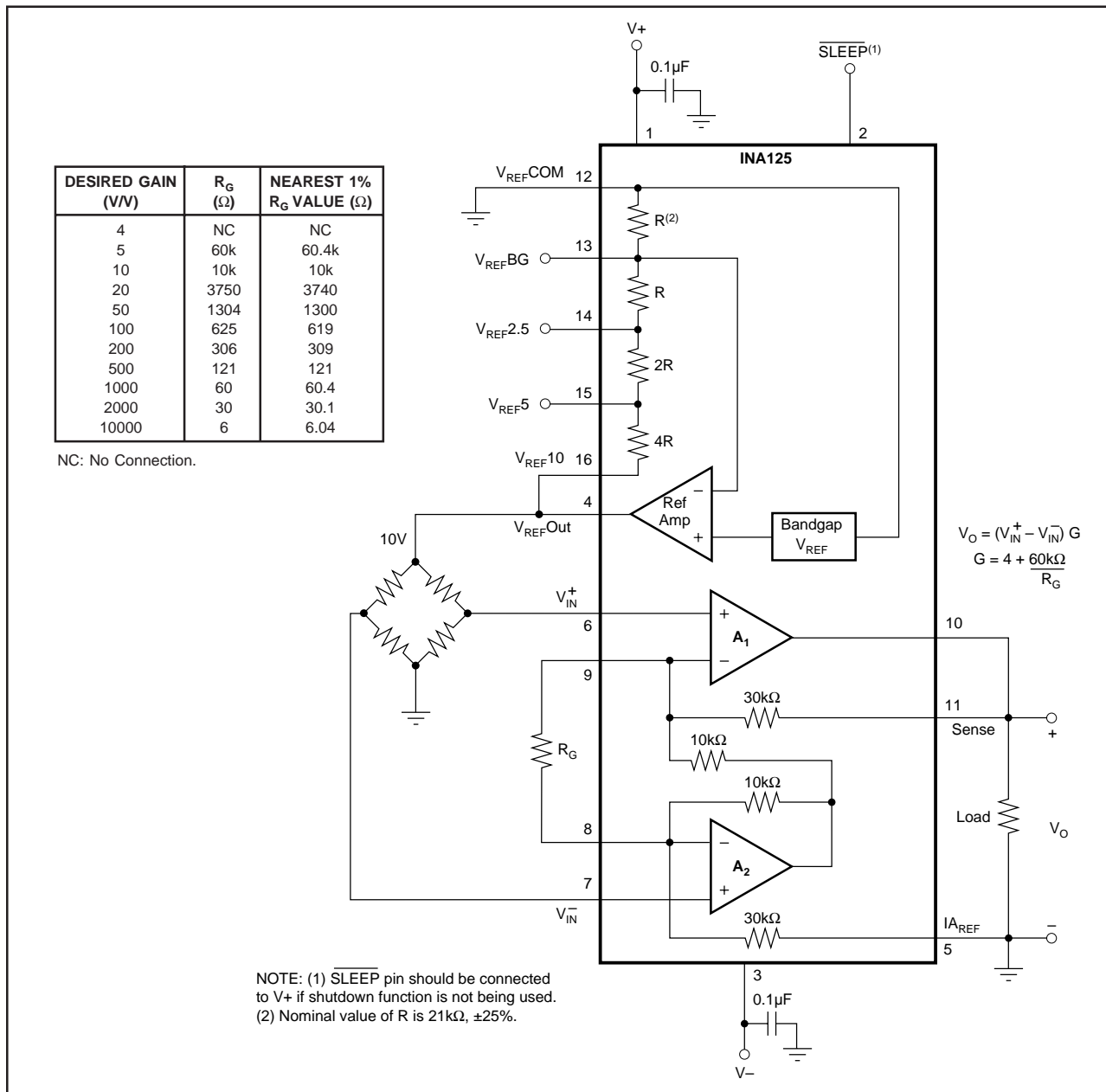


FIGURE 1. Basic Connections.

The 60k Ω term in equation 1 comes from the internal metal film resistors which are laser trimmed to accurate absolute values. The accuracy and temperature coefficient of these resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA125.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor, R_G , also affects gain. R_G 's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance, which will contribute additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater.

OFFSET TRIMMING

The INA125 is laser trimmed for low offset voltage and offset voltage drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows an optional circuit for trimming the output offset voltage. The voltage applied to the IA_{REF} terminal is added to the output signal. The op amp buffer is used to provide low impedance at the IA_{REF} terminal to preserve good common-mode rejection.

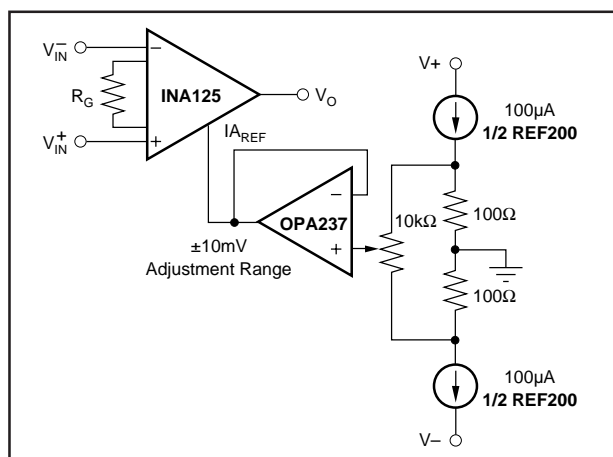


FIGURE 2. Optional Trimming of Output Offset Voltage.

INPUT BIAS CURRENT RETURN

The input impedance of the INA125 is extremely high—approximately $10^{11}\Omega$. However, a path must be provided for the input bias current of both inputs. This input bias current flows out of the device and is approximately 10nA. High input impedance means that this input bias current changes very little with varying input voltage.

Input circuitry must provide a path for this input bias current for proper operation. Figure 3 shows various provisions for an input bias current path. Without a bias current path, the inputs will float to a potential which exceeds the common-mode range, and the input amplifiers will saturate.

If the differential source resistance is low, the bias current return path can be connected to one input (see the thermocouple example in Figure 3). With higher source impedance, using two equal resistors provides a balanced input with possible advantages of lower input offset voltage due to bias current and better high frequency common-mode rejection.

INPUT COMMON-MODE RANGE

The input common-mode range of the INA125 is shown in the typical performance curves. The common-mode range is limited on the negative side by the output voltage swing of A_2 , an internal circuit node that cannot be measured on an external pin. The output voltage of A_2 can be expressed as:

$$V_{O2} = 1.3V_{IN}^- - (V_{IN}^+ - V_{IN}^-) (10k\Omega/R_G)$$

(voltages referred to IA_{REF} terminal, pin 5)

The internal op amp A_2 is identical to A_1 . Its output swing is limited to approximately 0.8V from the positive supply and 0.25V from the negative supply. When the input common-mode range is exceeded (A_2 's output is saturated), A_1 can still be in linear operation, responding to changes in the non-inverting input voltage. The output voltage, however, will be invalid.

PRECISION VOLTAGE REFERENCE

The on-board precision voltage reference provides an accurate voltage source for bridge and other transducer applications or ratiometric conversion with analog-to-digital converters. A reference output of 2.5V, 5V or 10V is available by connecting V_{REFOUT} (pin 4) to one of the V_{REF} pins ($V_{REF2.5}$, V_{REF5} , or V_{REF10}). Reference voltages are laser-trimmed for low initial error and low temperature drift. Connecting V_{REFOUT} to V_{REFBG} (pin 13) produces the bandgap reference voltage ($1.24V \pm 0.5\%$) at the reference output.

Positive supply voltage must be 1.25V above the desired reference voltage. For example, with $V+ = 2.7V$, only the 1.24V reference (V_{REFBG}) can be used. If using dual supplies V_{REFCOM} can be connected to $V-$, increasing the

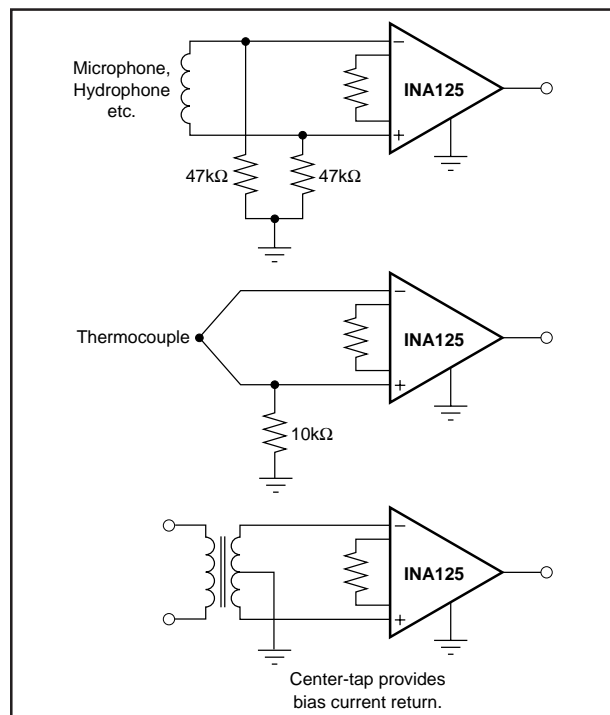


FIGURE 3. Providing an Input Common-Mode Current Path.

amount of supply voltage headroom available to the reference. Approximately 180 μ A flows out of the $V_{REF}COM$ terminal, therefore, it is recommended that it be connected through a low impedance path to sensor common to avoid possible ground loop problems.

Reference noise is proportional to the reference voltage selected. With $V_{REF} = 2.5V$, 0.1Hz to 10Hz peak-to-peak noise is approximately 9 μ Vp-p. Noise increases to 36 μ Vp-p for the 10V reference. Output drive capability of the voltage reference is improved by connecting a transistor as shown in Figure 4. The external transistor also serves to remove power from the INA125.

Internal resistors that set the voltage reference output are ratio-trimmed for accurate output voltages ($\pm 0.5\%$ max). The absolute resistance values, however, may vary $\pm 25\%$. Adjustment of the reference output voltage with an external resistor is not recommended because the required resistor value is uncertain.

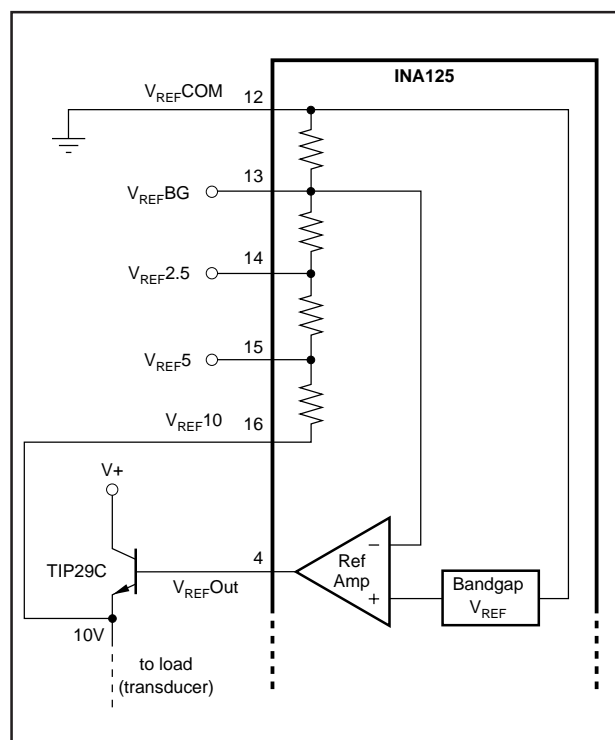


FIGURE 4. Reference Current Boost.

SHUTDOWN

The INA125 has a shutdown option. When the \overline{SLEEP} pin is LOW (100mV or less), the supply current drops to approximately 1 μ A and output impedance becomes approximately 80k Ω . Best performance is achieved with CMOS logic. To maintain low sleep current at high temperatures, V_{SLEEP} should be as close to 0V as possible. This should not be a problem if using CMOS logic unless the CMOS gate is driving other currents. Refer to the typical performance curve, "Sleep Current vs Temperature."

A transition region exists when V_{SLEEP} is between 400mV and 2.7V (with respect to $V_{REF}COM$) where the output is unpredictable. Operation in this region is not recommended. The INA125 achieves high accuracy quickly following wake-up ($V_{SLEEP} \geq 2.7V$). See the typical performance curve "Input-Referred Offset Voltage vs Sleep Turn-on Time." If shutdown is not being used, connect the \overline{SLEEP} pin to $V+$.

LOW VOLTAGE OPERATION

The INA125 can be operated on power supplies as low as $\pm 1.35V$. Performance remains excellent with power supplies ranging from $\pm 1.35V$ to $\pm 18V$. Most parameters vary only slightly throughout this supply voltage range—see typical performance curves. Operation at very low supply voltage requires careful attention to ensure that the common-mode voltage remains within its linear range. See "Input Common-Mode Voltage Range." As previously mentioned, when using the on-board reference with low supply voltages, it may be necessary to connect $V_{REF}COM$ to $V-$ to ensure $V_S - V_{REF} \geq 1.25V$.

SINGLE SUPPLY OPERATION

The INA125 can be used on single power supplies of +2.7V to +36V. Figure 5 shows a basic single supply circuit. The IA_{REF} , $V_{REF}COM$, and $V-$ terminals are connected to ground. Zero differential input voltage will demand an output voltage of 0V (ground). When the load is referred to ground as shown, actual output voltage swing is limited to approximately 150mV above ground. The typical performance curve "Output Voltage Swing vs Output Current" shows how the output swing varies with output current.

With single supply operation, careful attention should be paid to input common-mode range, output voltage swing of both op amps, and the voltage applied to the IA_{REF} terminal. V_{IN+} and V_{IN-} must both be 1V above ground for linear operation. You cannot, for instance, connect the inverting input to ground and measure a voltage connected to the non-inverting input.

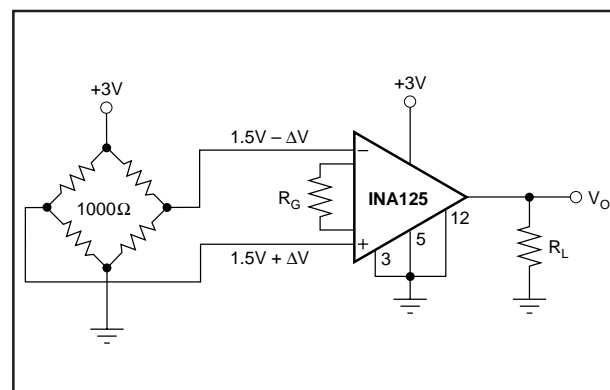


FIGURE 5. Single Supply Bridge Amplifier.

INPUT PROTECTION

The inputs of the INA125 are individually protected for voltage up to $\pm 40\text{V}$. For example, a condition of -40V on one input and $+40\text{V}$ on the other input will not cause damage. Internal circuitry on each input provides low series impedance under normal signal conditions. To provide equivalent protection, series input resistors would contribute

excessive noise. If the input is overloaded, the protection circuitry limits the input current to a safe value of approximately $120\mu\text{A}$ to $190\mu\text{A}$. The typical performance curve “Input Bias Current vs Input Overload Voltage” shows this input current limit behavior. The inputs are protected even if the power supplies are disconnected or turned off.

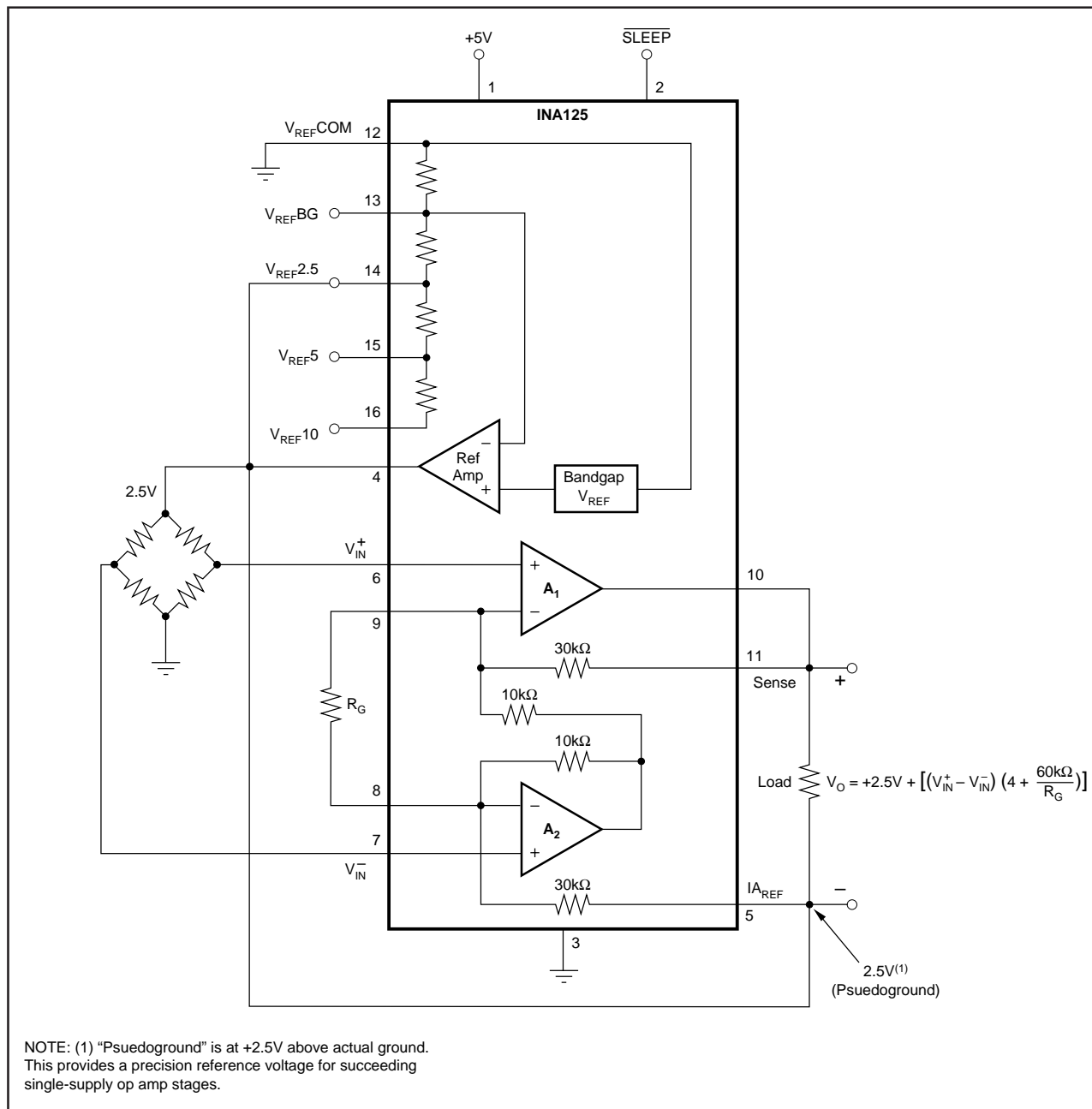


FIGURE 6. Psuedoground Bridge Measurement, 5V Single Supply.

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
INA125P	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA125PA	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA125PAG4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA125PG4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA125U	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA125U/2K5	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA125U/2K5E4	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA125UA	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA125UA/2K5	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA125UA/2K5E4	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA125UAG4	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA125UE4	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

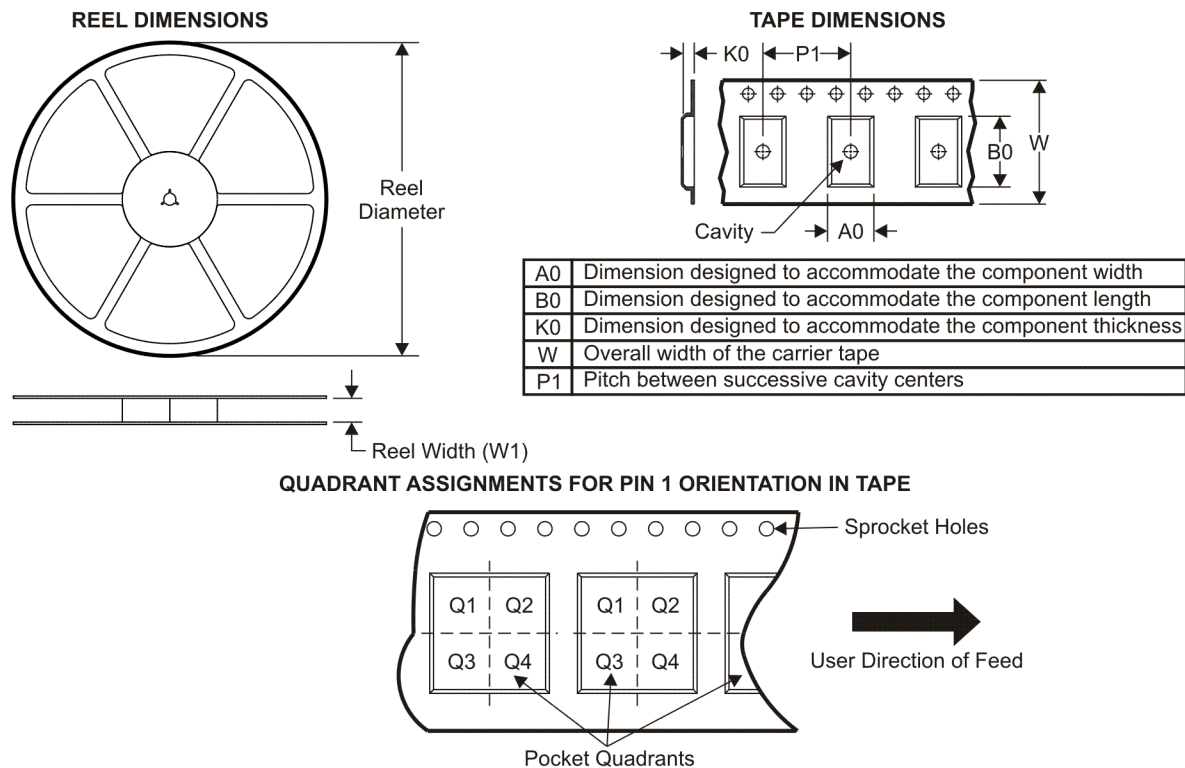
Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

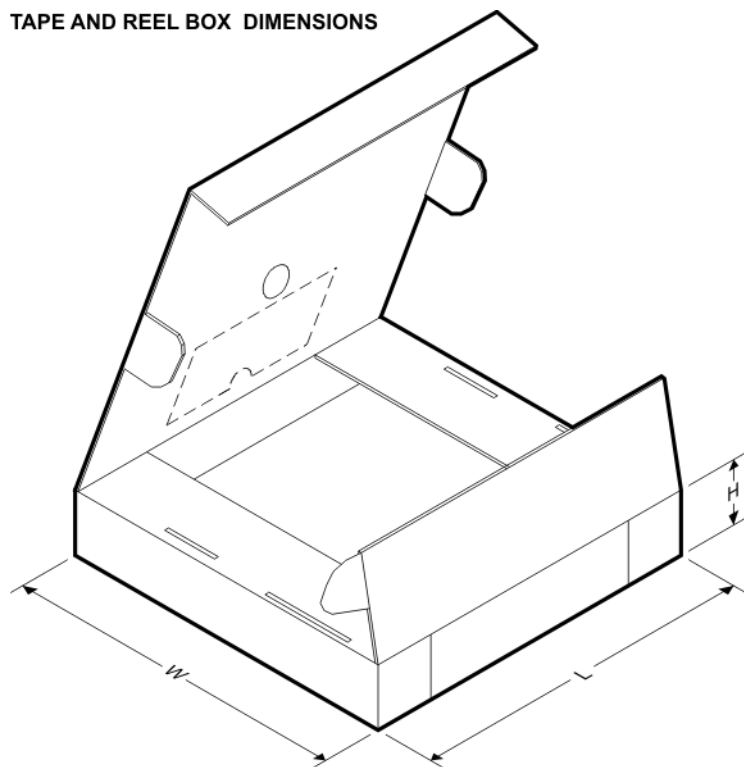
TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
INA125U/2K5	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1
INA125UA/2K5	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
INA125U/2K5	SOIC	D	16	2500	346.0	346.0	33.0
INA125UA/2K5	SOIC	D	16	2500	346.0	346.0	33.0

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products

Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
RF/IF and ZigBee® Solutions	www.ti.com/lpr

Applications

Audio	www.ti.com/audio
Automotive	www.ti.com/automotive
Broadband	www.ti.com/broadband
Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Medical	www.ti.com/medical
Military	www.ti.com/military
Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Security	www.ti.com/security
Telephony	www.ti.com/telephony
Video & Imaging	www.ti.com/video
Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated

Apêndice D

Datasheet MAX232

MAX232x Dual EIA-232 Drivers/Receivers

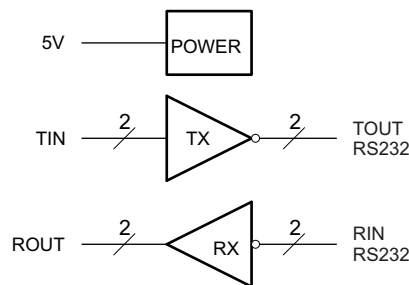
1 Features

- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operates From a Single 5-V Power Supply With 1.0- μ F Charge-Pump Capacitors
- Operates up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ± 30 -V Input Levels
- Low Supply Current: 8 mA Typical
- ESD Protection Exceeds JESD 22
 - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Upgrade With Improved ESD (15-kV HBM) and 0.1- μ F Charge-Pump Capacitors is Available With the MAX202 Device

2 Applications

- TIA/EIA-232-F
- Battery-Powered Systems
- Terminals
- Modems
- Computers

4 Simplified Schematic



3 Description

The MAX232 device is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels.

Device Information⁽¹⁾

ORDER NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE
MAX232x	SOIC (16)	9.90 mm \times 3.91 mm
	SOIC (16)	10.30 mm \times 7.50 mm
	PDIP (16)	19.30 mm \times 6.35 mm
	SOP (16)	10.3 mm \times 5.30 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.



Table of Contents

1 Features	1	9.1 Overview	9
2 Applications	1	9.2 Functional Block Diagram	9
3 Description	1	9.3 Feature Description	9
4 Simplified Schematic	1	9.4 Device Functional Modes	9
5 Revision History	2	10 Application and Implementation	10
6 Pin Configuration and Functions	3	10.1 Application Information	10
7 Specifications	4	10.2 Typical Application	10
7.1 Absolute Maximum Ratings	4	11 Power Supply Recommendations	11
7.2 Handling Ratings	4	12 Layout	11
7.3 Recommended Operating Conditions	4	12.1 Layout Guidelines	11
7.4 Thermal Information	4	12.2 Layout Example	11
7.5 Electrical Characteristics — Device	4	13 Device and Documentation Support	12
7.6 Electrical Characteristics — Driver	5	13.1 Related Links	12
7.7 Electrical Characteristics — Receiver	5	13.2 Trademarks	12
7.8 Switching Characteristics	5	13.3 Electrostatic Discharge Caution	12
7.9 Typical Characteristics	6	13.4 Glossary	12
8 Parameter Measurement Information	7	14 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	12
9 Detailed Description	9		

5 Revision History

Changes from Revision L (March 2004) to Revision M	Page
• Removed Ordering Information table.	1
• Added Handling Rating table, Feature Description section, Device Functional Modes, Application and Implementation section, Power Supply Recommendations section, Layout section, Device and Documentation Support section, and Mechanical, Packaging, and Orderable Information section.	1
• Moved T _{stg} to Handling Ratings table.	4

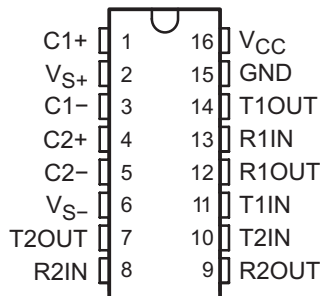
6 Pin Configuration and Functions

Top View

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE

MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE

(TOP VIEW)



Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
C1+	1	—	Positive lead of C1 capacitor
VS+	2	O	Positive charge pump output for storage capacitor only
C1-	3	—	Negative lead of C1 capacitor
C2+	4	—	Positive lead of C2 capacitor
C2-	5	—	Negative lead of C2 capacitor
VS-	6	O	Negative charge pump output for storage capacitor only
T2OUT, T1OUT	7, 14	O	RS232 line data output (to remote RS232 system)
R2IN, R1IN	8, 13	I	RS232 line data input (from remote RS232 system)
R2OUT, R1OUT	9, 12	O	Logic data output (to UART)
T2IN, T1IN	10, 11	I	Logic data input (from UART)
GND	15	—	Ground
V _{CC}	16	—	Supply Voltage, Connect to external 5V power supply

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

			MIN	MAX	UNIT
V _{CC}	Input Supply voltage range ⁽²⁾		−0.3	6	V
V _{S+}	Positive output supply voltage range		V _{CC} − 0.3	15	V
V _{S−}	Negative output supply voltage range		−0.3	−15	V
V _I	Input voltage range	T1IN, T2IN	−0.3	V _{CC} + 0.3	V
		R1IN, R2IN	±30		
V _O	Output voltage range	T1OUT, T2OUT	V _{S−} − 0.3	V _{S+} + 0.3	V
		R1OUT, R2OUT	−0.3	V _{CC} + 0.3	
	Short-circuit duration	T1OUT, T2OUT	Unlimited		
T _J	Operating virtual junction temperature			150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltages are with respect to network GND.

7.2 Handling Ratings

			MIN	MAX	UNIT
T_{stg}	Storage temperature range		–65	150	°C
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins ⁽¹⁾	0	2000	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins ⁽²⁾	0	1000	

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

7.3 Recommended Operating Conditions

			MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage		4.5	5	5.5	V
V_{IH}	High-level input voltage (T1IN, T2IN)		2			V
V_{IL}	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)				0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage				± 30	V
T_A	Operating free-air temperature	MAX232	0		70	°C
		MAX232I	–40		85	

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		MAX232xD	MAX232xDW	MAX232xN	MAX232xNS	UNIT
		SOIC	SOIC wide	PDIP	SOP	
		16 PINS	16 PINS	16 PINS	16 PINS	
R _{θJA}	Junction-to-ambient thermal resistance	73	57	67	64	°C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report ([SPRA953](#)).

7.5 Electrical Characteristics — Device

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see [Figure 6](#))

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	UNIT
I_{CC}	Supply current	$V_{CC} = 5.5V$, all outputs open, $T_A = 25^\circ C$			
			8	10	mA

- (1) Test conditions are C1–C4 = 1 μF at $V_{CC} = 5V \pm 0.5V$

- (2) All typical values are at $V_{CC} = 5V$, and $T_A = 25^\circ C$.

7.6 Electrical Characteristics — Driver

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND	5	7		V
V _{OL}	Low-level output voltage ⁽³⁾	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND		–7	–5	V
r _O	Output resistance	T1OUT, T2OUT	V _{S+} = V _{S–} = 0, V _O = ±2 V	300			Ω
I _{OS} ⁽⁴⁾	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT	V _{CC} = 5.5 V, V _O = 0 V		±10		mA
I _{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN	V _I = 0			200	μA

(1) Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

(2) All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

(3) The algebraic convention, in which the least-positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

(4) Not more than one output should be shorted at a time.

7.7 Electrical Characteristics — Receiver

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT	I _{OH} = –1 mA	3.5			V
V _{OL}	Low-level output voltage ⁽³⁾	R1OUT, R2OUT	I _{OL} = 3.2 mA			0.4	V
V _{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		1.7	2.4	V
V _{IT–}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	0.8	1.2		V
V _{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V	0.2	0.5	1	V
r _I	Receiver input resistance	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	3	5	7	kΩ

(1) Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

(2) All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

(3) The algebraic convention, in which the least-positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

7.8 Switching Characteristics

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate		R _L = 3 kΩ to 7 kΩ, see Figure 4			30	V/μs
SR(t)	Driver transition region slew rate		see Figure 5		3		V/μs
	Data rate		One TOUT switching		120		kbit/s
t _{PLH} ®	Receiver propagation delay time, low- to high-level output		TTL load, see Figure 3		500		ns
t _{PHL} ®	Receiver propagation delay time, high- to low-level output		TTL load, see Figure 3		500		ns

(1) Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

MAX232, MAX232I

SLLS047M – FEBRUARY 1989 – REVISED NOVEMBER 2014

www.ti.com

7.9 Typical Characteristics

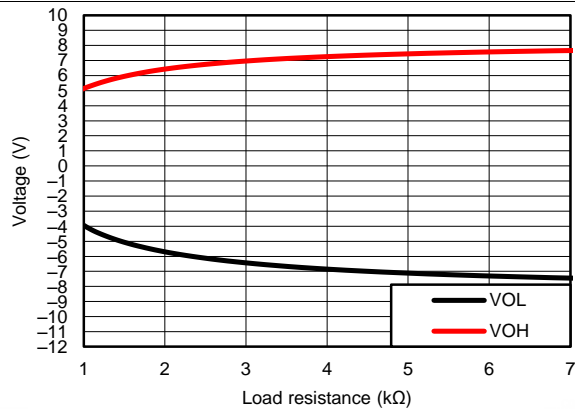


Figure 1. TOUT VOH & VOL vs Load Resistance, Both Drivers Loaded

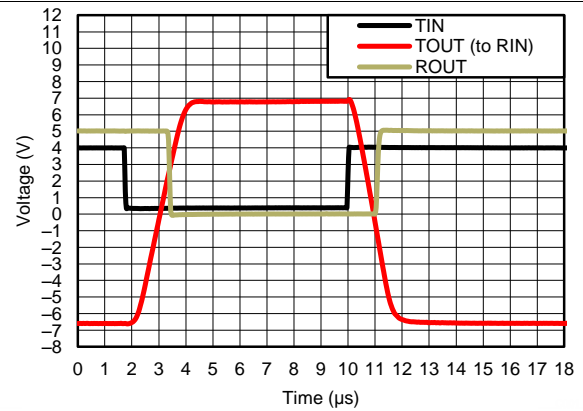
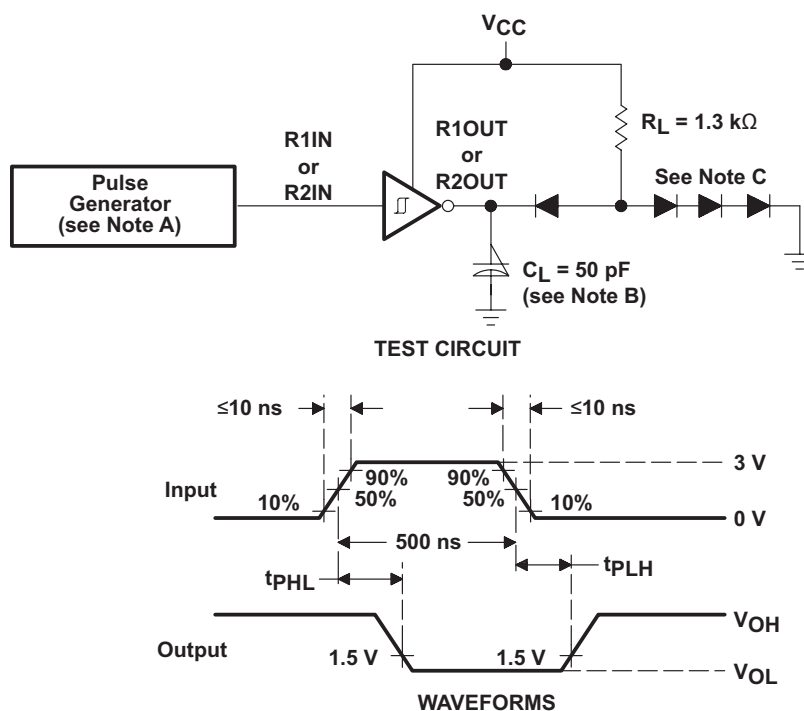


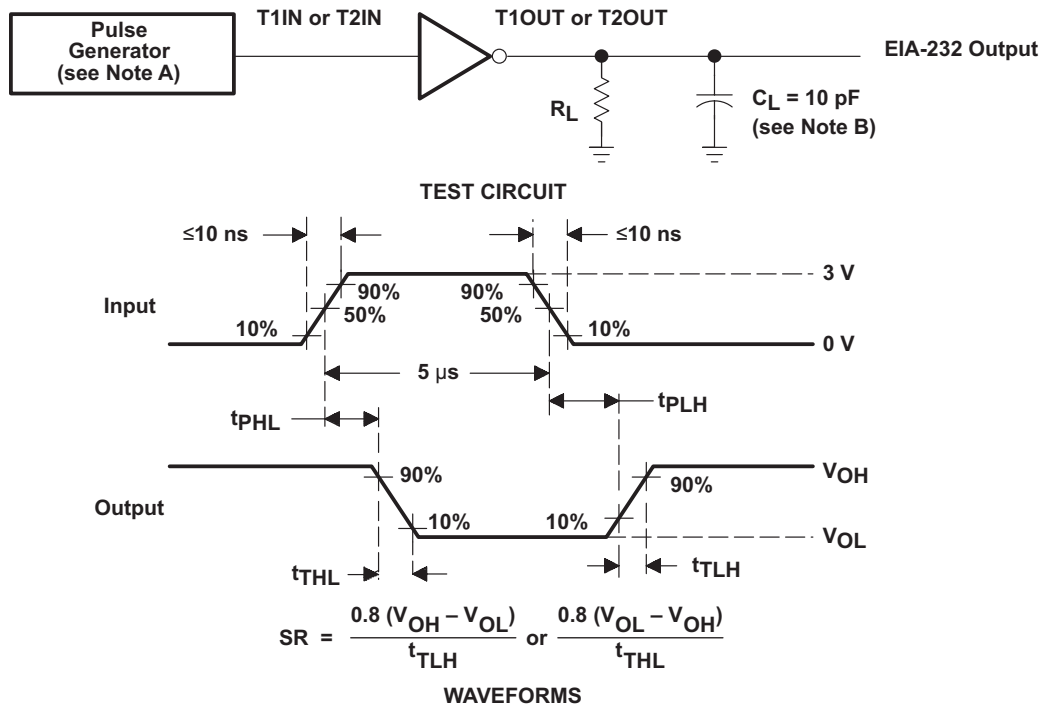
Figure 2. Driver to Receiver Loopback Timing Waveform

8 Parameter Measurement Information

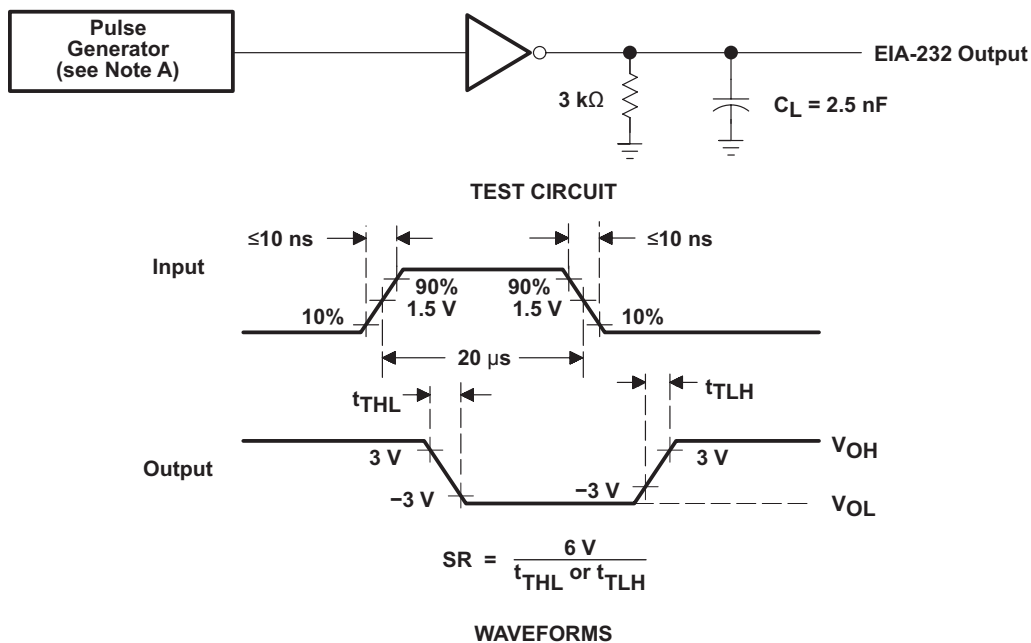


- A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50\ \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
- B. C_L includes probe and jig capacitance.
- C. All diodes are 1N3064 or equivalent.

Figure 3. Receiver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements

Parameter Measurement Information (continued)


- A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
- B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Driver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements (5- μs Input)


- A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.

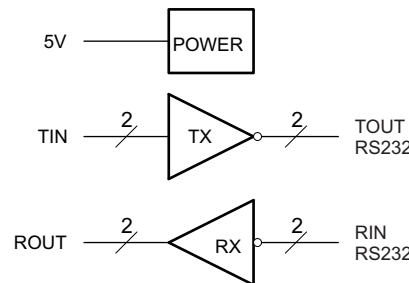
Figure 5. Test Circuit and Waveforms for t_{THL} and t_{TLH} Measurements (20- μs Input)

9 Detailed Description

9.1 Overview

The MAX232 device is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator using four capacitors to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library. Outputs are protected against shorts to ground.

9.2 Functional Block Diagram



9.3 Feature Description

9.3.1 Power

The power block increases and inverts the 5V supply for the RS232 driver using a charge pump that requires four 1- μ F external capacitors.

9.3.2 RS232 Driver

Two drivers interface standard logic level to RS232 levels. Internal pull up resistors on TIN inputs ensures a high input when the line is high impedance.

9.3.3 RS232 Receiver

Two receivers interface RS232 levels to standard logic levels. An open input will result in a high output on ROUT.

9.4 Device Functional Modes

9.4.1 V_{CC} powered by 5V

The device will be in normal operation.

9.4.2 V_{CC} unpowered

When MAX232 is unpowered, it can be safely connected to an active remote RS232 device.

Table 1. Function Table Each Driver⁽¹⁾

INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

(1) H = high level, L = low level, X = irrelevant, Z = high impedance

Table 2. Function Table Each Receiver⁽¹⁾

INPUTS RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L
Open	H

(1) H = high level, L = low level, X = irrelevant, Z = high impedance (off),
Open = disconnected input or connected driver off

10 Application and Implementation

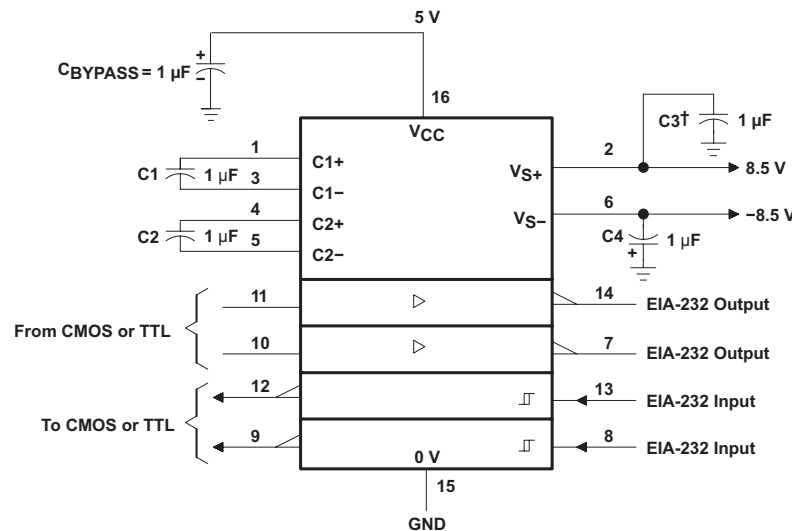
NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

10.1 Application Information

For proper operation add capacitors as shown in [Figure 6](#). Pins 9 through 12 connect to UART or general purpose logic lines. EIA-232 lines will connect to a connector or cable.

10.2 Typical Application



† C3 can be connected to V_{CC} or GND.

NOTES: A. Resistor values shown are nominal.

B. Nonpolarized ceramic capacitors are acceptable. If polarized tantalum or electrolytic capacitors are used, they should be connected as shown. In addition to the 1-μF capacitors shown, the MAX202 can operate with 0.1-μF capacitors.

Figure 6. Typical Operating Circuit

10.2.1 Design Requirements

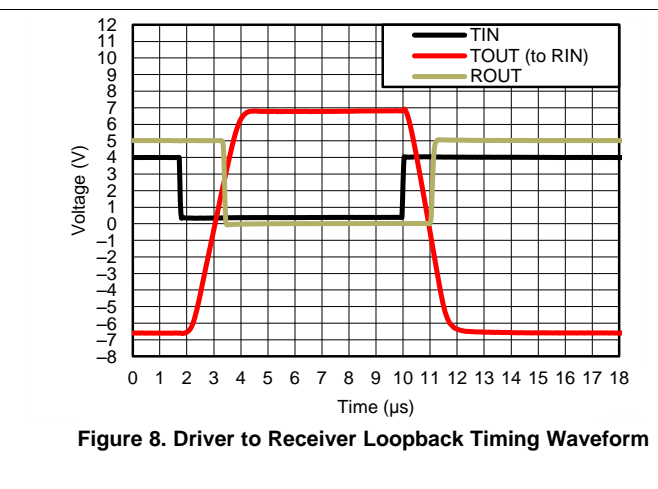
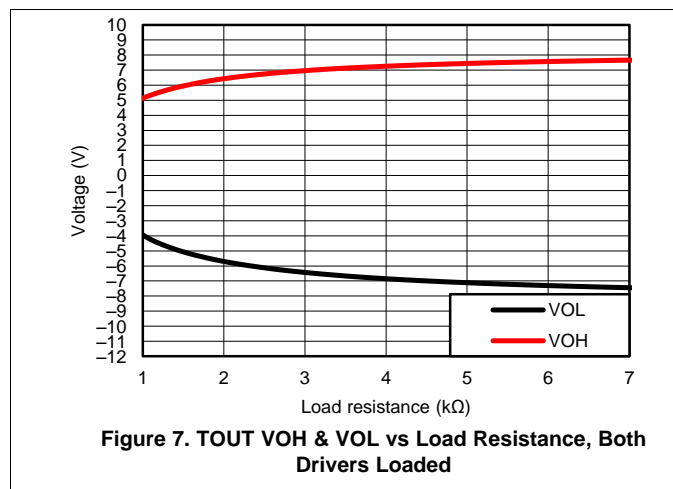
- V_{CC} minimum is 4.5 V and maximum is 5.5 V.
- Maximum recommended bit rate is 120 kbps.

10.2.2 Detailed Design Procedure

Use 1 uF tantalum or ceramic capacitors.

Typical Application (continued)

10.2.3 Application Curves



11 Power Supply Recommendations

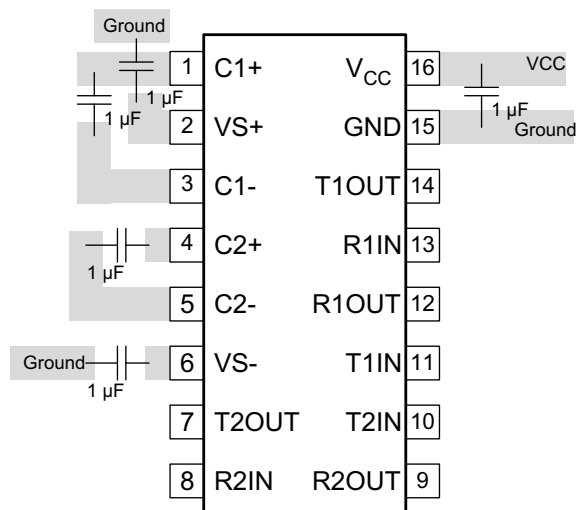
The V_{CC} voltage should be connected to the same power source used for logic device connected to TIN pins. V_{CC} should be between 4.5V and 5.5V.

12 Layout

12.1 Layout Guidelines

Keep the external capacitor traces short. This is more important on C1 and C2 nodes that have the fastest rise and fall times.

12.2 Layout Example



13 Device and Documentation Support

13.1 Related Links

The table below lists quick access links. Categories include technical documents, support and community resources, tools and software, and quick access to sample or buy.

Table 3. Related Links

PARTS	PRODUCT FOLDER	SAMPLE & BUY	TECHNICAL DOCUMENTS	TOOLS & SOFTWARE	SUPPORT & COMMUNITY
MAX232	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
MAX232I	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here

13.2 Trademarks

All trademarks are the property of their respective owners.

13.3 Electrostatic Discharge Caution



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

13.4 Glossary

[SLYZ022](#) — *TI Glossary*.

This glossary lists and explains terms, acronyms and definitions.

14 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

The following pages include mechanical packaging and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser based versions of this data sheet, refer to the left hand navigation.

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
MAX232D	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DE4	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DG4	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DR	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DRE4	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DRG4	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DW	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DWE4	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DWG4	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DWR	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DWRE4	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232DWRG4	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples
MAX232ID	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	MAX232I	Samples
MAX232IDG4	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	MAX232I	Samples
MAX232IDR	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	MAX232I	Samples
MAX232IDW	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	MAX232I	Samples
MAX232IDWG4	ACTIVE	SOIC	DW	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	MAX232I	Samples

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
MAX232IDWR	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	MAX232I	Samples
MAX232IDWRE4	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	MAX232I	Samples
MAX232IDWRG4	ACTIVE	SOIC	DW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	MAX232I	Samples
MAX232IN	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	MAX232IN	Samples
MAX232INE4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	MAX232IN	Samples
MAX232N	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	MAX232N	Samples
MAX232NE4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	MAX232N	Samples
MAX232NSR	ACTIVE	SO	NS	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	MAX232	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".

RoHS Exempt: TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.

Green: TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

⁽⁶⁾ Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
MAX232DR	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1
MAX232DR	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1
MAX232DRG4	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1
MAX232DRG4	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1
MAX232DWR	SOIC	DW	16	2000	330.0	16.4	10.75	10.7	2.7	12.0	16.0	Q1
MAX232DWRG4	SOIC	DW	16	2000	330.0	16.4	10.75	10.7	2.7	12.0	16.0	Q1
MAX232IDR	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1
MAX232IDWR	SOIC	DW	16	2000	330.0	16.4	10.75	10.7	2.7	12.0	16.0	Q1
MAX232IDWRG4	SOIC	DW	16	2000	330.0	16.4	10.75	10.7	2.7	12.0	16.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS

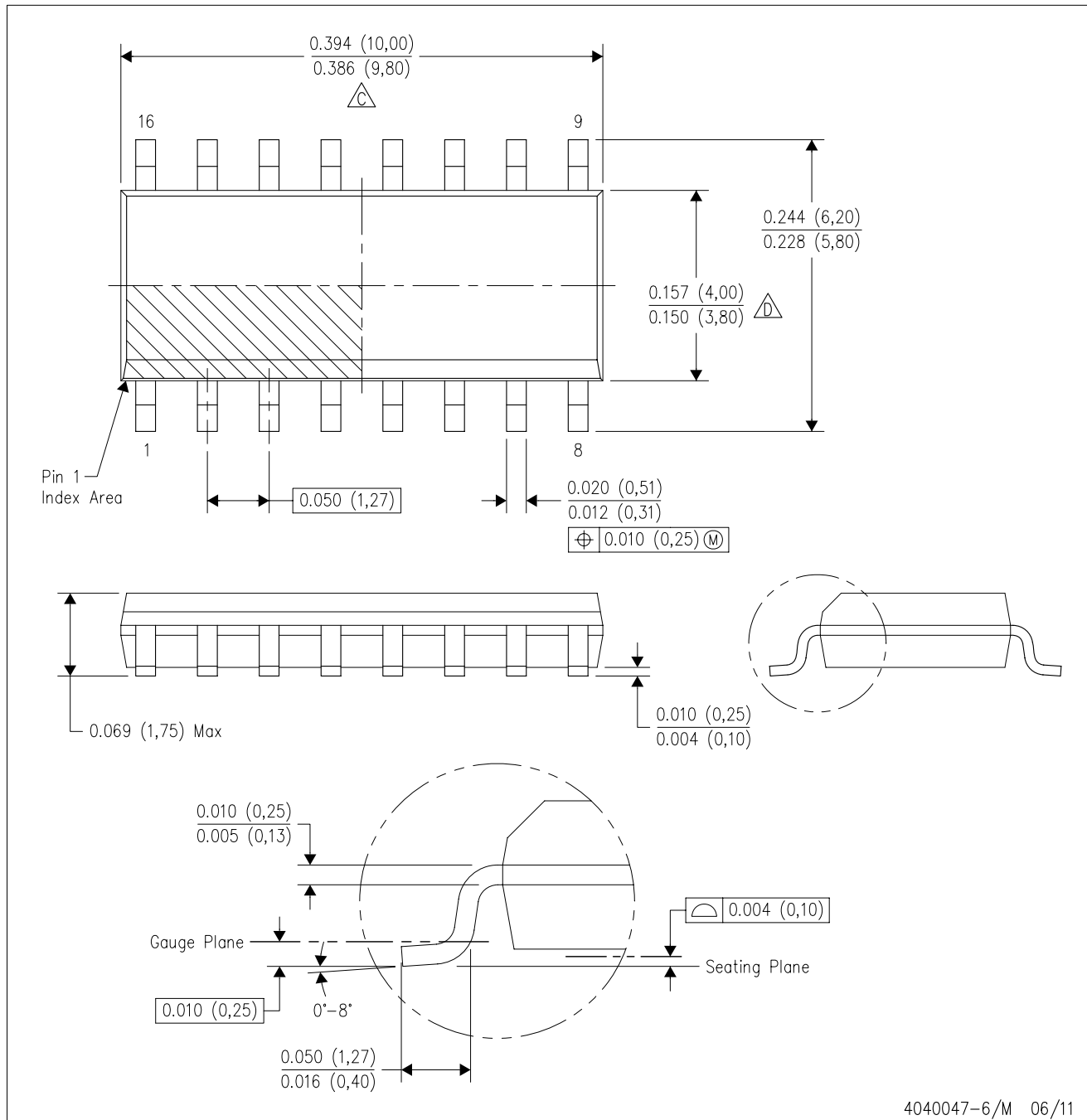


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
MAX232DR	SOIC	D	16	2500	367.0	367.0	38.0
MAX232DR	SOIC	D	16	2500	333.2	345.9	28.6
MAX232DRG4	SOIC	D	16	2500	367.0	367.0	38.0
MAX232DRG4	SOIC	D	16	2500	333.2	345.9	28.6
MAX232DWR	SOIC	DW	16	2000	350.0	350.0	43.0
MAX232DWRG4	SOIC	DW	16	2000	350.0	350.0	43.0
MAX232IDR	SOIC	D	16	2500	333.2	345.9	28.6
MAX232IDWR	SOIC	DW	16	2000	350.0	350.0	43.0
MAX232IDWRG4	SOIC	DW	16	2000	350.0	350.0	43.0

D (R-PDSO-G16)

PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - $\triangle C$ Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.006 (0,15) each side.
 - $\triangle D$ Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.017 (0,43) each side.
 - E. Reference JEDEC MS-012 variation AC.

D (R-PDSO-G16)

PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - D. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
 - E. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

MECHANICAL DATA

NS (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14-PINS SHOWN



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.

GENERIC PACKAGE VIEW

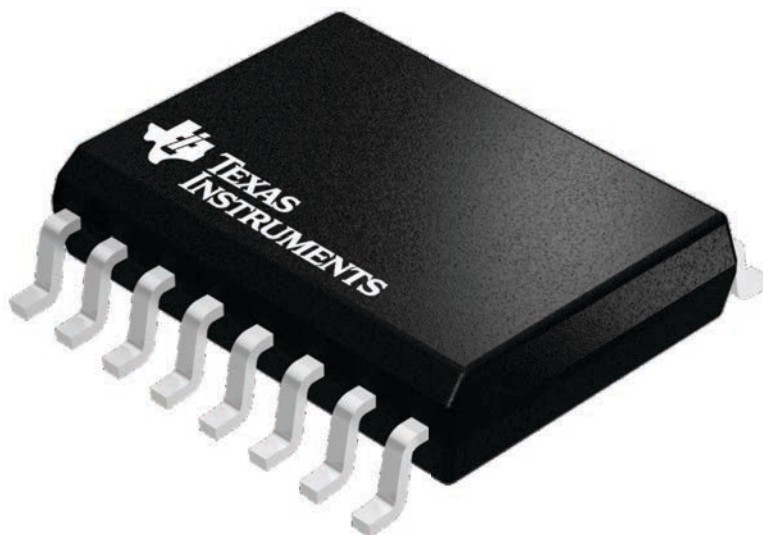
DW 16

SOIC - 2.65 mm max height

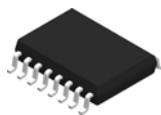
7.5 x 10.3, 1.27 mm pitch

SMALL OUTLINE INTEGRATED CIRCUIT

This image is a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.



4224780/A

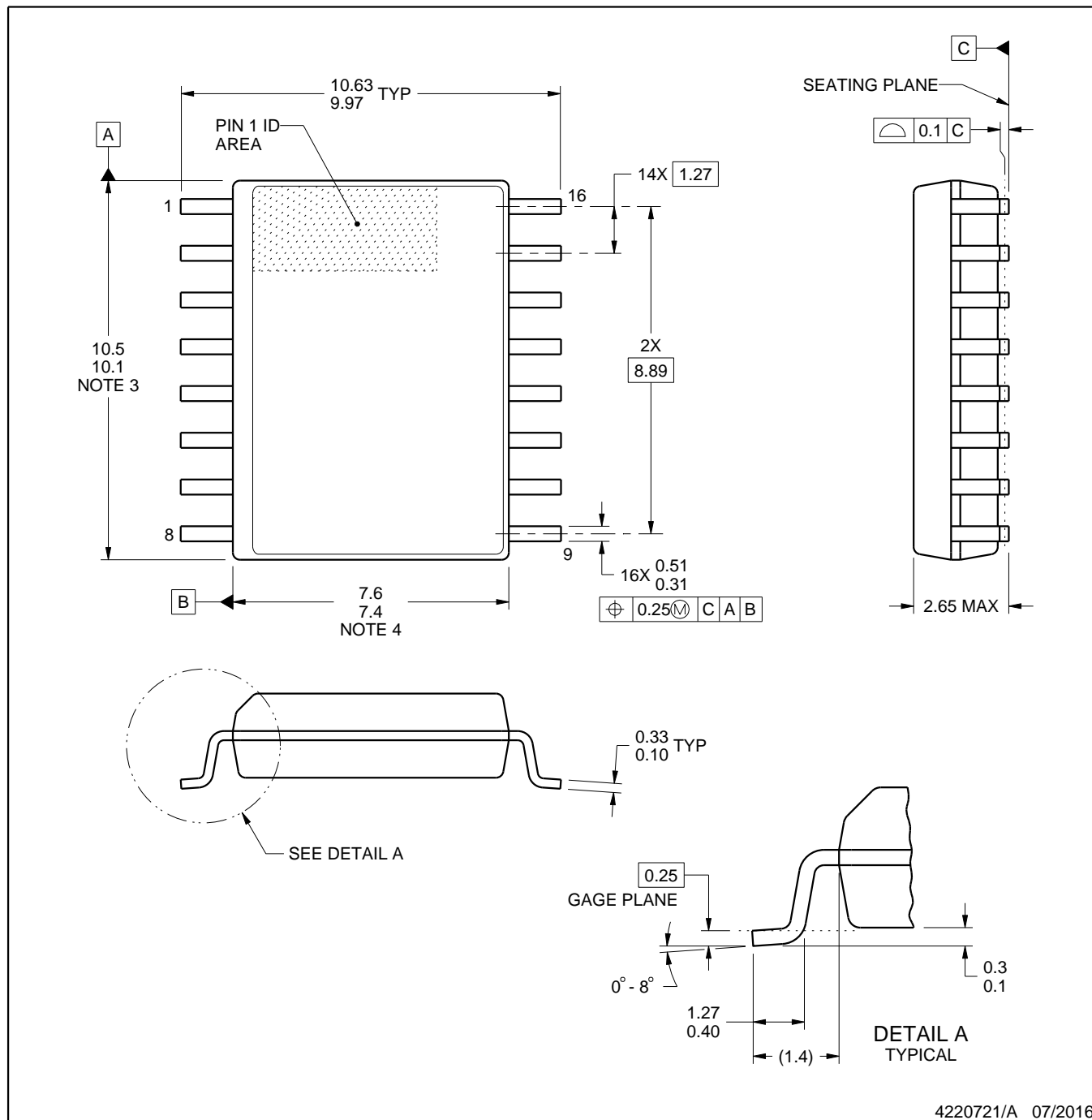


DW0016A

PACKAGE OUTLINE

SOIC - 2.65 mm max height

SOIC



4220721/A 07/2016

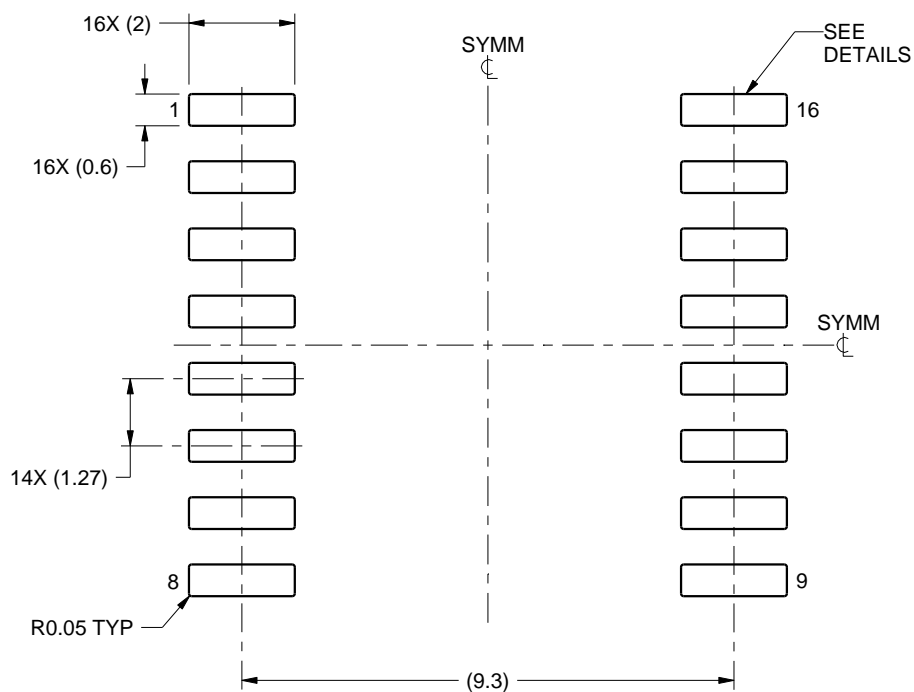
NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm, per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm, per side.
5. Reference JEDEC registration MS-013.

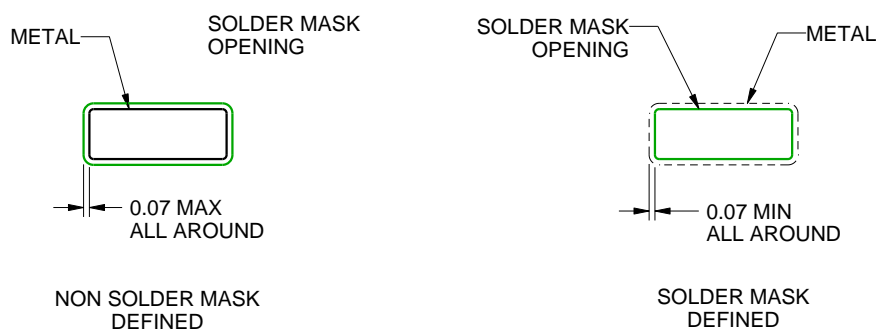
DW0016A

SOIC - 2.65 mm max height

SOIC



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE:7X



SOLDER MASK DETAILS

4220721/A 07/2016

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.

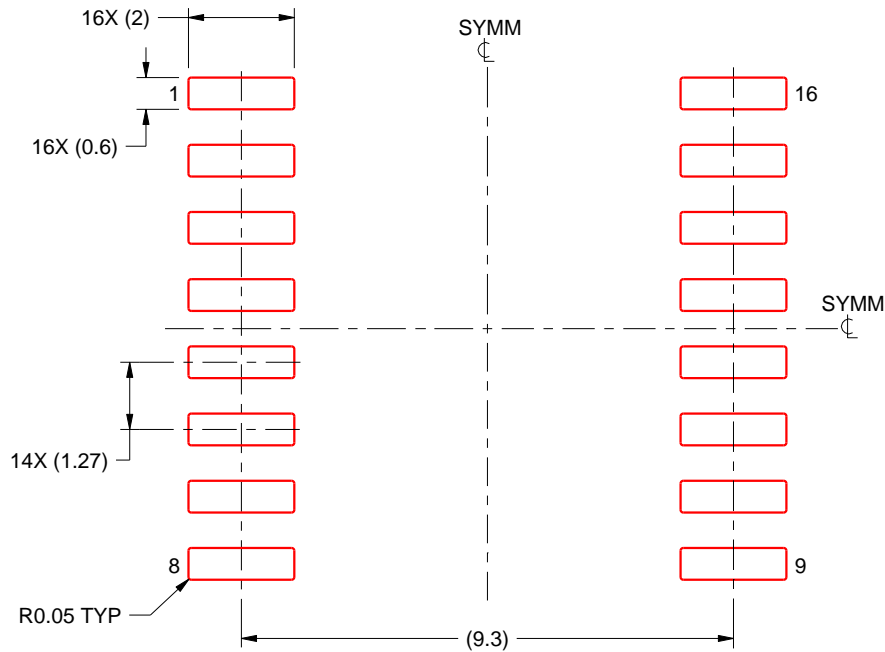
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DW0016A

SOIC - 2.65 mm max height

SOIC



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:7X

4220721/A 07/2016

NOTES: (continued)

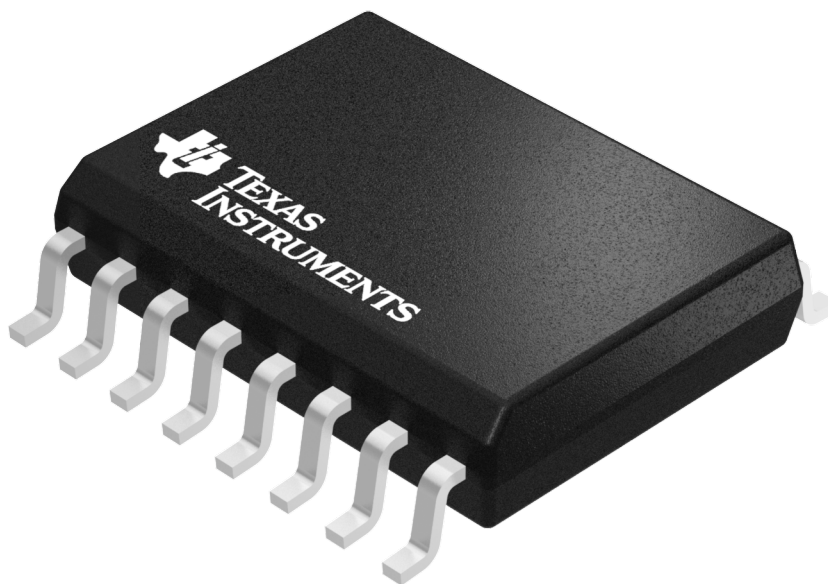
8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
9. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

DW 16

GENERIC PACKAGE VIEW

SOIC - 2.65 mm max height

SMALL OUTLINE INTEGRATED CIRCUIT



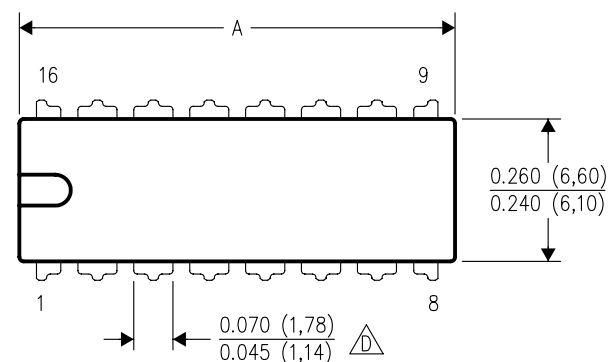
Images above are just a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.

4040000-2/H

N (R-PDIP-T**)

16 PINS SHOWN

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



PINS ** DIM	14	16	18	20
A MAX	0.775 (19,69)	0.775 (19,69)	0.920 (23,37)	1.060 (26,92)
A MIN	0.745 (18,92)	0.745 (18,92)	0.850 (21,59)	0.940 (23,88)
MS-001 VARIATION	AA	BB	AC	AD



4040049/E 12/2002

NOTES:

- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
-  Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
 The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to TI's Terms of Sale (www.ti.com/legal/termsofsale.html) or other applicable terms available either on ti.com or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2019, Texas Instruments Incorporated

Apêndice E

Esquema elétrico

Apêndice F

Código *Arduíno*

/*

Este código foi desenvolvido para o projeto - "Projeto e construção de miniprensa de 5kN".

Aluno: Francisco Felício

Orientador: Prof. Antonio Bastos

A função deste código é controlar a prensa desenvolvida no projeto, para isso, enviar os valores da célula de carga e receber instruções para o movimento do motor.

*/

```
#include<SoftwareSerial.h>
```

```
//Declaração de variáveis
```

```
const int stepPin = 3; //Indica ao driver o numero de steps a usar
```

```
const int dirPin = 6; //Indica ao driver a direção do motor
```

```
String ordem = "vazio"; //Variavel onde fica armazenado as mensagens enviadas para o arduino
```

```
String fast_d = "fastd"; //Indica o movimento pretendido
```

```
String fast_e = "faste"; //Indica o movimento pretendido
```

```
String lento_d = "lentod"; //Indica o movimento pretendido
```

```
String lento_e = "lentoe"; //Indica o movimento pretendido
```

```
String medio_d = "mediod"; //Indica o movimento pretendido
```

```
String medio_e = "medioe"; //Indica o movimento pretendido
```

```
int i=0; //Contador
```

```
// Rotina de setup
```

```
void setup() {
```

```
    //define os pinos do driver como saidas
```

```
    pinMode(stepPin,OUTPUT);
```

```
    pinMode(dirPin,OUTPUT);
```

```
    // Inicializa uma comunicação serie com um baudrate de 9600, 8 bits, sem paridade, 1 stopbit
```

```
    Serial.begin(9600,SERIAL_8N1);
```

```
//define o pino 13 como saida, este pin é um led integrado no arduino
```

```
    pinMode(13,OUTPUT);
```

```
}
```

```

//rotina loop
void loop() {
    // Leitura da entrada analogica A1 (celula de carga):
    byte sensorValue = analogRead(A1);

    // Conversão da entrada analogica (que vai de 0 - 1023) para tensão (0 - 5V):
    float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);

    // Imprime os dados da entrada analogica:
    Serial.println(voltage);

//Verifica se ha alguma mensagem para ler, se houver lê.
    if (Serial.available() > 0) {

        //leitura da mensagem
        ordem = Serial.readString();

        // confirmação da leitura da mensagem
        Serial.print("I received: ");
        Serial.println(ordem);
        /*A função trim é muito importante! Por vezes com as mensagem vem
        algum lixo que impede a correta leitura das mesmas, esta função limpa esse lixo.
        Este lixo acontece principalmente quando se usa do Termite*/
        ordem.trim();

//Compara a mensagem recebida com as funções pre-definidas
        if(ordem == fast_d){

digitalWrite(13,HIGH);
            Serial.println("Motor started...");
            while(i<21600){
                digitalWrite(dirPin,HIGH);
                digitalWrite(stepPin,HIGH);
                delayMicroseconds(200);
                digitalWrite(stepPin,LOW);
                delayMicroseconds(200);
                i=i+1;
            }
            digitalWrite(13,LOW);
            i=0;
            ordem="vazio";
            Serial.println("Motor ended!");
        }
    }
}

```

```
if(ordem == fast_e) {

Serial.println("Motor started...");

while(i<21600) {
    digitalWrite(dirPin,LOW);
    digitalWrite(stepPin,HIGH);
    delayMicroseconds(200);
    digitalWrite(stepPin,LOW);
    delayMicroseconds(200);
    i=i+1;
}
i=0;
ordem="vazio";
Serial.println("Motor ended!");
}

if(ordem == medio_d) {

Serial.println("Motor started...");

while(i<21600) {
    digitalWrite(dirPin,HIGH);
    digitalWrite(stepPin,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin,LOW);
    delayMicroseconds(500);
    i=i+1;
}
i=0;
ordem="vazio";
Serial.println("Motor ended!");
}

if(ordem == medio_e) {

Serial.println("Motor started...");

while(i<21600) {
    digitalWrite(dirPin,LOW);
    digitalWrite(stepPin,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin,LOW);
    delayMicroseconds(500);
    i=i+1;
```

```

}
i=0;
ordem="vazio";
Serial.println("Motor ended!");
}

if(ordem == lento_d){

Serial.println("Motor started...");

while(i<1000){
digitalWrite(dirPin,HIGH);
digitalWrite(stepPin,HIGH);
delayMicroseconds(20000);
digitalWrite(stepPin,LOW);
delayMicroseconds(20000);
i=i+1;
}
i=0;
ordem="vazio";
Serial.println("Motor ended!");
}

if(ordem == lento_e){

Serial.println("Motor started...");

while(i<10001){
digitalWrite(dirPin,LOW);
digitalWrite(stepPin,HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(stepPin,LOW);
delayMicroseconds(500);
i=i+1;
}
i=0;
ordem="vazio";
Serial.println("Motor ended!");
}
}
}

```


Apêndice G

Dados de configuração da digitalização

Scanning Start Angle=0.000

Type of Detector Motion=STEP AND SHOOT

Scanning Trajectory=ROUND

Number Of Horizontal Offset Positions=1

Suggested HU - Calibration=180000

Study Date and Time=15 Mar 2019 17h:47m:05s

Scan duration=3h:27m:45s

Maximum vertical TS=5.0

[Reconstruction]

Reconstruction Program=NRecon

Program Version=Version: 1.7.3.1

Program Home Directory=C:\SkyScan1275

Reconstruction engine=GPUReconServer

Engine version=Version: 1.7.3

Reconstruction from batch=No

Postalignment Applied=1

Postalignment=-2.50

Reconstruction servers= SCAN1275_048

Dataset Origin=SkyScan1275

Dataset Prefix=Espuma PU_comp_

Dataset Directory=D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU_comprimida

Output Directory=D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU_comprimida\Espuma PU_comp_Rec

Time and Date=Mar 18, 2019 14:33:13

First Section=611

Last Section=1302

Reconstruction duration per slice (seconds)=0.507225

Total reconstruction time (692 slices) in seconds=351.000000

Section to Section Step=1

Sections Count=692

Result File Type=BMP

Result File Header Length (bytes)=1134

Result Image Width (pixels)=1944
Result Image Height (pixels)=1944
Pixel Size (um)=50.00109
Reconstruction Angular Range (deg)=360.00
Use 180+=OFF
Angular Step (deg)=0.2000
Smoothing=0
Ring Artifact Correction=6
Draw Scales=OFF
Object Bigger than FOV=OFF
Reconstruction from ROI=OFF
Filter cutoff relative to Nyquist frequency=100
Filter type=0
Filter type description=Hamming (Alpha=0.54)
Undersampling factor=1
Threshold for defect pixel mask (%)=0
Beam Hardening Correction (%)=0
CS Static Rotation (deg)=0.00
CS Static Rotation Total(deg)=0.00
Minimum for CS to Image Conversion=0.000000
Maximum for CS to Image Conversion=0.008466
HU Calibration=OFF
BMP LUT=0
Cone-beam Angle Horiz.(deg)=30.816811
Cone-beam Angle Vert.(deg)=24.088736

Apêndice H

Resultados da análise da amostra não comprimida

Loaded dataset:, D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU\Espuma PU_Rec\espuma pu__rec

<<<<< Begin of task (b17f8ec9-4897-48d6-86e7-5249619f7cdc) >>>>>

CT Analyser, Version: 1.17.7.2

Dataset name, D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU\Espuma PU_Rec\Espuma PU__rec00000657.bmp

File postfix length, 8

File type, BMP

Image size (W/H), 1944, 1944

Total number of images, 421

Total Z-position range, 648, 1068

Number of images inside VOI, 187

Z-position range of VOI, 736, 922

Z spacing, 1

Pixel size (um), 50.000000

[03/18/19 15:35:16] Thresholding

Mode, Global

Lower grey threshold, 13

Upper grey threshold, 40

[03/18/19 15:35:21] Thresholding done

[03/18/19 15:35:21] 3D analysis

Date and time, 18.03.2019 15:35

Operator identity, SkyScan

Computer name, SCAN1275_048

Computation time, 00:00:48

Dataset, espuma pu__rec

Location, D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU\Espuma PU_Rec\

MORPHOMETRY RESULTS

Description, Abbreviation, Value, Unit

Number of layers,, 187

Lower vertical position,, 36.80000, mm

Upper vertical position,, 46.10000, mm

Pixel size,, 50.00000, um

Lower grey threshold,, 13

Upper grey threshold,, 40

Total VOI volume, TV, 2574.28074, mm³

Object volume, Obj.V, 1828.77110, mm³

Percent object volume, Obj.V/TV, 71.04008, %

Total VOI surface, TS, 1230.65638, mm²

Object surface,Obj.S,11377.94628,mm²
 Intersection surface,i.S,482.57566,mm²
 Object surface / volume ratio,Obj.S/Obj.V,6.22163,1/mm
 Object surface density,Obj.S/TV,4.41985,1/mm
 Centroid (x),Crd.X,61.00460,mm
 Centroid (y),Crd.Y,57.82409,mm
 Centroid (z),Crd.Z,41.49745,mm
 Number of objects,Obj.N,267,
 Number of closed pores,Po.N(cl),2555,
 Volume of closed pores,Po.V(cl),10.71830,mm³
 Surface of closed pores,Po.S(cl),318.07616,mm²
 Closed porosity (percent),Po(cl),0.58268,%
 Volume of open pore space,Po.V(op),734.79134,mm³
 Open porosity (percent),Po(op),28.54356,%
 Total volume of pore space,Po.V(tot),745.50964,mm³
 Total porosity (percent),Po(tot),28.95992,%
 Euler number,Eu.N,-10695,
 Connectivity,Conn,13517,
 Connectivity density,Conn.Dn,0.00066,1/mm³

3D-analysis summary

Dataset,Date and time,Pixel size,Unit,Lower grey threshold,Upper grey threshold>Total VOI volume,Object volume,Percent
 ,,,U,,,TV,Obj.V,Obj.V/TV,TS,Obj.S,i.S,Obj.S/Obj.V,Obj.S/TV,St.Th,St.Sp,St.Li.Dn,SCv.I,Crd.X,Crd.Y,Crd.Z,SML,DA,,,,FD,Obj.N,P
 ,,,um,,,,U³,U³,%,U²,U²,U²,1/U,1/U,U,U,1/U,1/U,U,U,U,,,,,,U³,U²,%,U³,%,U³,%,,,1/U³,U,U,U⁵,U⁵,U⁵,U⁵

D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU\Espuma PU_Rec\espuma pu__rec,18.03.2019 15:35,50.00000,mm,13,40,2574.28074,

[03/18/19 15:36:09] 3D model

Model creation algorithm: Adaptive rendering

Apply to: Image inside ROI

Smoothing = On

Locality = 1

Tolerance = 1.000000

Model filename = D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU\Espuma PU_Rec\espuma pu__rec.ctm

<<<<< End of task (b17f8ec9-4897-48d6-86e7-5249619f7cdc) >>>>>

Apêndice I

Resultados da análise da amostra comprimida

Loaded dataset:, D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU_comprimida\Espuma PU_comp_Rec\espuma pu_comp__rec

<<<<< Begin of task (49801684-7d12-4d0a-91a8-dfb5121d289f) >>>>>

CT Analyser, Version: 1.17.7.2

Dataset name, D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU_comprimida\Espuma PU_comp_Rec\Espuma PU_comp__rec00000612

File postfix length, 8

File type, BMP

Image size (W/H), 1944, 1944

Total number of images, 692

Total Z-position range, 611, 1302

Number of images inside VOI, 59

Z-position range of VOI, 866, 924

Z spacing, 1

Pixel size (um), 50.000000

[03/18/19 16:30:44] Thresholding

Mode, Global

Lower grey threshold, 20

Upper grey threshold, 85

[03/18/19 16:30:53] Thresholding done

[03/18/19 16:30:53] 3D analysis

Date and time,18.03.2019 16:30

Operator identity,SkyScan

Computer name,SCAN1275_048

Computation time,00:00:17

Dataset,espuma pu_comp__rec

Location,D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU_comprimida\Espuma PU_comp_Rec\

MORPHOMETRY RESULTS

Description,Abbreviation,Value,Unit

Number of layers,,59

Lower vertical position,,43.30000,mm

Upper vertical position,,46.20000,mm

Pixel size,,50.00000,um

Lower grey threshold,,20

Upper grey threshold,,85

Total VOI volume,TV,736.28190,mm^3

Object volume,Obj.V,637.64066,mm^3

Percent object volume,Obj.V/TV,86.60279,%

Total VOI surface,TS,696.79533,mm^2

Object surface,Obj.S,2364.38761,mm²
 Intersection surface,i.S,566.85002,mm²
 Object surface / volume ratio,Obj.S/Obj.V,3.70803,1/mm
 Object surface density,Obj.S/TV,3.21125,1/mm
 Centroid (x),Crd.X,34.70321,mm
 Centroid (y),Crd.Y,39.76522,mm
 Centroid (z),Crd.Z,44.76617,mm
 Number of objects,Obj.N,12,
 Number of closed pores,Po.N(cl),3518,
 Volume of closed pores,Po.V(cl),29.04205,mm³
 Surface of closed pores,Po.S(cl),697.39942,mm²
 Closed porosity (percent),Po(cl),4.35620,%
 Volume of open pore space,Po.V(op),69.59918,mm³
 Open porosity (percent),Po(op),9.45279,%
 Total volume of pore space,Po.V(tot),98.64124,mm³
 Total porosity (percent),Po(tot),13.39721,%
 Euler number,Eu.N,2916,
 Connectivity,Conn,614,
 Connectivity density,Conn.Dn,0.00010,1/mm³

3D-analysis summary

Dataset,Date and time,Pixel size,Unit,Lower grey threshold,Upper grey threshold>Total VOI volume,Object volume,Percent
 ,,,U,,,TV,Obj.V,Obj.V/TV,TS,Obj.S,i.S,Obj.S/Obj.V,Obj.S/TV,St.Th,St.Sp,St.Li.Dn,SCv.I,Crd.X,Crd.Y,Crd.Z,SMI,DA,,,,FD,Obj.N,P
 ,um,,,,U³,U³,%,U²,U²,U²,1/U,1/U,U,U,1/U,1/U,U,U,U,,,,,,U³,U²,%,U³,%,U³,%,,,1/U³,U,U,U⁵,U⁵,U⁵,U⁵

D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU_comprimida\Espuma PU_comp_Rec\espuma pu_comp__rec,18.03.2019 16:30,50.000

[03/18/19 16:31:10] 3D model

Model creation algorithm: Adaptive rendering

Apply to: Image inside ROI

Smoothing = On

Locality = 1

Tolerance = 1.000000

Model filename = D:\Results\Nuno\MTS\Espuma PU_comprimida\Espuma PU_comp_Rec\espuma pu_comp__rec.ctm

<<<<< End of task (49801684-7d12-4d0a-91a8-dfb5121d289f) >>>>>